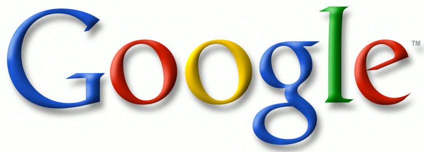
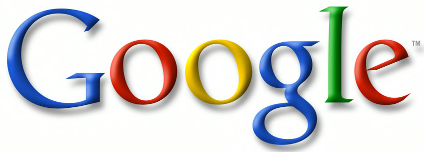
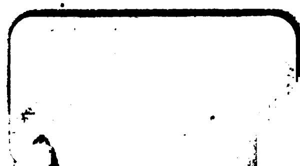
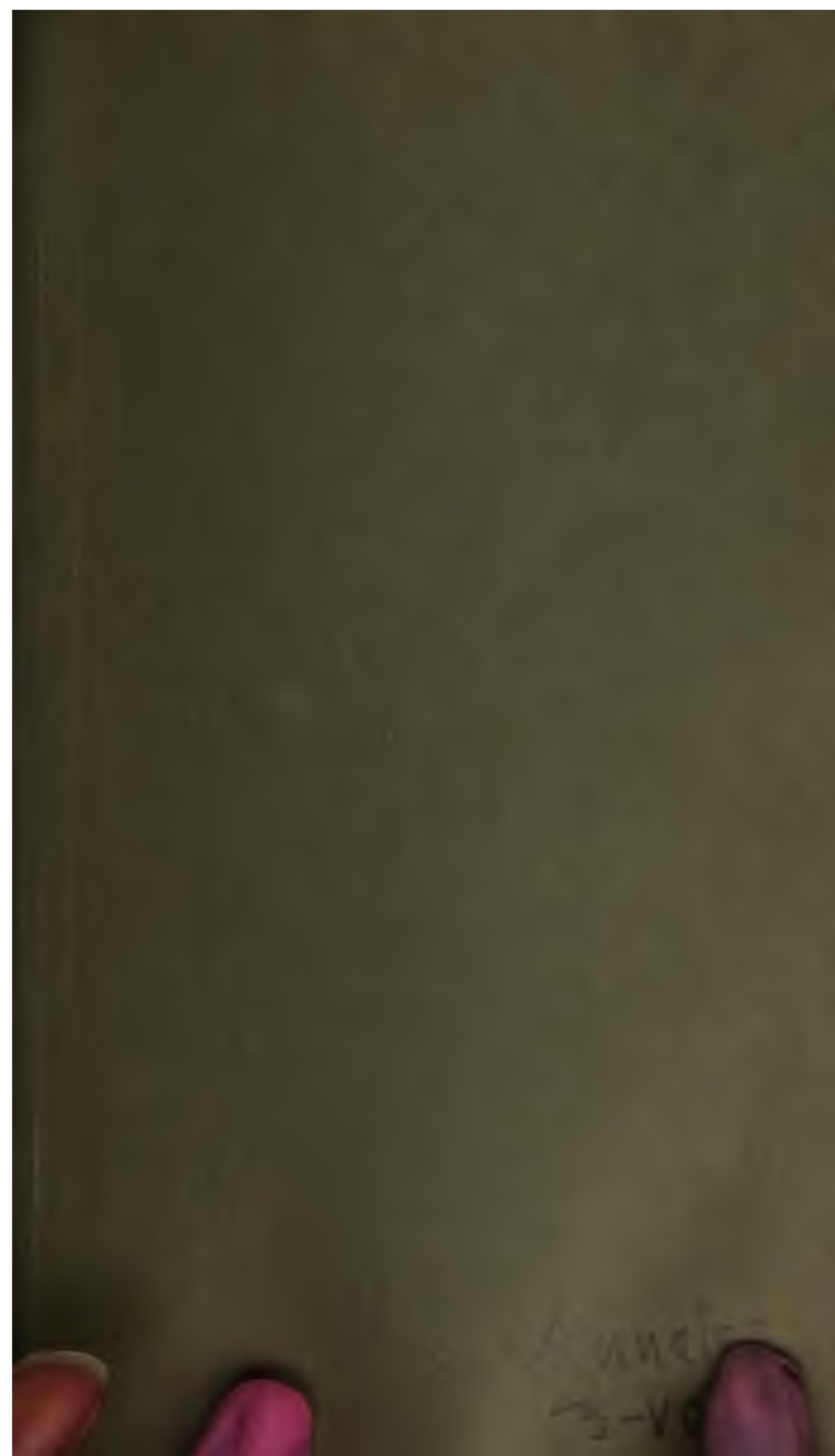










ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

IMPRIMERIE C. MARPON ET E. FLAMMARION
RUE RACINE, 26, A PARIS.

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

TROISIÈME SÉRIE

TOME VINGT-DEUXIÈME

PARIS

Vve Ch. DUNOD & P. VICQ, ÉDITEURS

LIBRAIRES DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES

49, Quai des Grands-Augustins, 49

1895

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1895 **Janvier - Février**

APPAREILS INDUSTRIELS DE MESURE ÉLECTRIQUE

DE

LORD KELVIN

Lord Kelvin (sir William Thomson) a récemment complété la série d'instruments de mesure électrique dont il est l'auteur par quelques appareils destinés plus particulièrement à l'industrie de la lumière électrique et qui se recommandent par la simplicité des dispositions, la solidité de la construction et la précision des indications. Ce sont des ampèremètres et des voltmètres. Ces derniers, à l'exception d'un seul, sont tous des instruments électrostatiques. Ils s'appliquent à la mesure des courants alternatifs comme à celle des courants continus, n'exigent aucune dépense d'énergie et sont à l'abri des perturbations dues à la sef-induction dont l'importance dépend, comme on le sait, de la fréquence ;

leurs indications ne sont pas modifiées par les variations de la température.

La série des appareils électrostatiques comprend : le *voltmètre électrostatique vertical*, le *voltmètre multicellulaire* et la *balance électrostatique.*

Les autres appareils industriels sont : l'*ampèremètre électro-magnétique*, le *voltmètre à grand cadran pour station centrale* et le *voltmètre enregistreur.*

I.

APPAREILS ÉLECTROSTATIQUES.

Voltmètre électrostatique vertical. — Cet appareil est fondé sur le principe du condensateur dont la capacité varie avec le déplacement d'une armature. C'est la transformation en instrument industriel de l'appareil de laboratoire du même auteur : l'*électromètre à quadrans*, ou pour mieux dire la moitié de cet appareil avec de plus grandes dimensions et une construction plus robuste.

Les points entre lesquels on désire mesurer la différence de potentiel sont reliés, l'un aux armatures fixes, l'autre à l'armature mobile ; cette dernière tend à se déplacer sous l'action électrostatique de manière à accroître la capacité du système et l'effort mis en jeu est proportionnel au carré de la différence de potentiel entre les armatures ; le poids d'une masse fixée à l'équipage mobile fait équilibre à l'action électrostatique dans toutes les positions de l'armature ; un index placé à la partie supérieure se déplace devant un secteur gradué qui sert aux lectures. L'ensemble est renfermé dans une boite métallique vitrée à l'avant,

qui le protège des courants d'air et éventuellement de l'action des autres corps électrisés placés dans le voisinage.

L'appareil est représenté *fig.* 1.

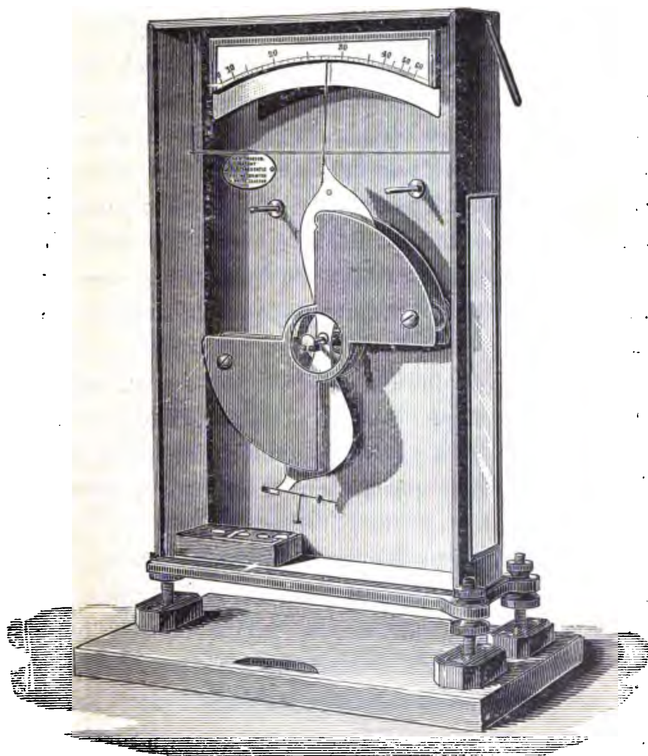


Fig. 1.
Voltmètre électrostatique vertical.

L'armature fixe est formée de deux plaques de laiton séparées par un intervalle d'environ 24 millimètres et reliées par deux entretoises de même métal; ces plaques sont découpées de manière à former deux

quarts de cercle comme l'indique la figure, avec un évidement au centre pour le passage de l'axe de l'armature mobile. La plaque postérieure montée sur un bloc isolant en ébonite communique par un fil de cuivre avec une des bornes de l'appareil.

L'armature mobile est constituée par une lame d'aluminium portée par un axe d'acier reposant sur deux couteaux de même métal. Cette lame est découpée en forme de 8; elle se termine à la partie supérieure par un index constitué par une pointe fine en aluminium, et à la partie inférieure par un anneau auquel on accroche des contrepoids. Elle est reliée métalliquement à la boîte enveloppant l'appareil; une borne fixée à celle-ci constitue la deuxième électrode de l'instrument.

La lame d'aluminium est très mobile sur ses couteaux; elle se meut dans un plan parallèle à celui des plaques fixes et à égale distance de chacune d'elles. Trois vis calantes permettent d'assurer la verticalité du système.

Dans la position de repos, lorsque les armatures sont au même potentiel, la lame d'aluminium est presque à l'extérieur de la cavité formée par les secteurs. Si aucun contrepoids n'est suspendu, l'aiguille doit être en équilibre indifférent dans toutes les positions de la graduation. Si l'on accroche un poids, elle doit revenir au zéro.

Chaque appareil possède un groupe de trois contrepoids. On peut employer le plus petit seul, ou avec le moyen, ou les trois poids ensemble. Les poids totaux sont dans ces trois cas dans le rapport 1 : 4 : 16 et les indications de l'appareil correspondent à des différences de potentiels qui sont entre elles comme 1 : 2 : 4.

Dans un type de cet instrument, lorsque le petit poids seul est accroché, chaque division du cadran correspond à 50 volts; une division correspond donc à 100 ou 200 volts suivant qu'on ajoute le poids moyen ou qu'on emploie les trois poids réunis. L'appareil permet d'évaluer jusqu'à 3.000 volts dans le premier cas; 6.000 dans le second et 12.000 dans le troisième.

Derrière l'aiguille, se trouve une petite barre métallique horizontale suspendue par ses deux extrémités au moyen de deux fils de soie et commandée par une manivelle que l'on voit en haut et à l'extérieur de la boîte. Cette tringle sert à amortir par frottement les oscillations trop brusques de l'aiguille.

On construit quatre types de ce voltmètre permettant d'effectuer des mesures entre les limites suivantes :

No 1........	de	200	à	4.000	volts.
2........	de	400	à	8.000	—
3........	de	800	à	12.000	—
4........	de	1.000	à	20.000	—

Voltmètre multicellulaire (*modèle vertical*). — Cet appareil est fondé sur le même principe que le précédent, mais on a augmenté la sensibilité en multipliant le nombre des plaques formant les armatures. Au lieu de deux secteurs que contenait le premier voltmètre, cet appareil en possède deux séries de quatorze, mais ici le plan des plaques est horizontal. Chaque série de secteurs fixes est formée d'un bloc venu de fonte (alliage des caractères typographiques) et portant treize cloisons horizontales équidistantes constituant comme de petites cellules. La *fig.* 2 montre la série d'alvéoles située à gauche de l'appareil; la série de droite est presque complètement cachée par une lame verticale en laiton dont il sera question plus loin; les

cloisons des deux séries sont dans un même plan horizontal; un conducteur relie les deux groupes; des supports isolants servent à fixer ces pièces aux parois de la boîte.

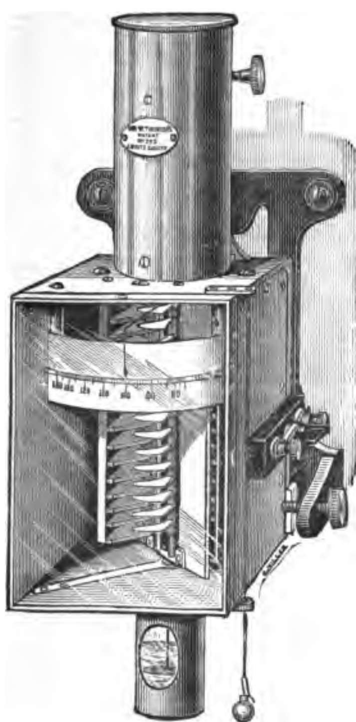


Fig. 2.
Voltmètre multicellulaire. (Modèle vertical).

L'armature mobile est constituée par une série de onze plaques d'aluminium découpées en forme de 8 et représentées en blanc sur la figure; elles sont fixée normalement à une même tige d'aluminium et écartées à une distance égale à l'intervalle des cellules. Cette tige est suspendue à l'extrémité d'un fil de platine-iridium protégé par un tube vertical surmontant la boîte et dont l'autre extrémité est pincée dans une pince solidaire d'une roue dentée, laquelle est actionnée par une vis sans fin, commandée par un bouton moleté; le fil peut ainsi recevoir une torsion pour le réglage primitif.

La tige d'aluminium se prolonge au-dessous des plaques mobiles et se termine par un disque de laiton plongeant dans un godet d'huile fixé à la partie inférieure de l'appareil et servant d'amortisseur. Ce dispositif rend l'appareil sensiblement apériodique.

A droite et à l'avant de l'appareil se trouve une

lame verticale de laiton reliée à la cage de l'appareil et qui, agissant sur l'équipage mobile comme plaque répulsive, l'empêche de venir en contact avec les armatures fixes et d'occasionner un court circuit.

A la partie supérieure de la tige d'aluminium est fixé un index horizontal dont l'extrémité, recourbée à angle droit, se déplace devant un secteur cylindrique gradué.

Le bouton moleté qui porte le fil de suspension peut tourner autour d'un axe vertical et permet d'amener l'index au zéro de la graduation lorsque les armatures sont au même potentiel.

L'ensemble de l'appareil est contenu dans une cage en laiton vitrée à l'avant et portée elle-même par une platine en fonte qui s'attache à un mur par trois vis traversant des blocs d'ébonite. Trois vis calantes fixées à la cage et s'appuyant sur la platine de fonte permettent de placer l'appareil dans un plan vertical; un fil à plomb suspendu à l'une des arêtes de la boîte, guide au cours de cette opération.

Lorsque l'instrument n'est pas utilisé, on a soin de soulever l'aiguille pour l'immobiliser; à cet effet, l'équipage mobile peut être saisi par une fourchette placée à la base de l'appareil et que commande un bouton à vis qu'on manœuvre de l'extérieur.

A la cage de l'appareil est fixée une borne qui sert d'électrode; les armatures extérieures peuvent communiquer avec une seconde borne par l'intermédiaire d'un commutateur à manette; cet organe comporte trois positions : dans l'une, l'armature est reliée à la borne et le voltmètre peut servir à une mesure; dans la seconde, elle est isolée (si on lui a communiqué une charge au préalable, on peut juger de son degré d'iso-

lement par la lenteur de déperdition); dans la troisième, elle est reliée à l'autre armature par un court circuit, l'appareil se décharge.

La force antagoniste fournie par le fil de suspension ne peut pas être modifiée par un jeu de poids comme dans l'appareil précédent; chaque instrument indique la différence de potentiels par une lecture directe; on en construit cinq types qui ont les limites de lecture suivantes :

N° 1	de	50	à	100	volts.
2	de	70	à	130	—
3	de	100	à	240	—
4	de	300	à	400	—
5	de	700	à	1.300	—

Voltmètre multicellulaire (modèle horizontal). —



Fig. 3.
Voltmètre multicellulaire. (Modèle horizontal.)

La *fig*. 3 représente un autre modèle du même appareil plus spécialement transportable; l'amortisseur n'existe pas; la boîte est de forme cylindrique et portée par trois pieds à vis calantes; l'aiguille n'est pas recourbée comme dans le précédent appareil, elle se déplace sur un secteur plan, mais un miroir incliné à 45° en reproduit l'image dans un plan vertical et permet, par suite, d'effectuer la lecture sans se placer au-dessus de l'instrument.

La graduation de l'échelle est semblable à celle de l'appareil vertical, mais le déplacement de l'aiguille est plus considérable; un même type peut être utilisé dans des limites plus étendues.

Balance électrostatique. — Cet instrument est destiné à mesurer des différences de potentiel considérables; il est construit avec des soins spéciaux destinés à assurer l'isolement entre les armatures.

L'armature fixe est formée d'un disque de laiton porté par trois piliers en verre fixés sur un socle en ardoise. Ce disque repose librement sur ses supports au moyen de la disposition de lord Kelvin, connue sous le nom de système de *trou*, *rainure*, *plan*, qui permet de placer un appareil à trois pieds sur un plan dans une position définie toujours la même. Ce plateau communique avec l'extérieur par un fil de laiton soigneusement isolé au caoutchouc et à la paraffine et logé de plus dans un tube de verre; ce fil sert d'électrode.

L'armature mobile est un plateau circulaire d'aluminium suspendu par trois fils à un étrier accroché à l'extrémité d'un fléau à bras inégaux, mobile sur l'arête d'un couteau reposant sur deux piliers. Le grand bras

du levier est terminé par un index qui se déplace devant un arc gradué; un crochet fixé à ce bras, mais très près de l'axe de rotation, sert à suspendre un ou plusieurs petits poids employés, comme dans le voltmètre vertical, à équilibrer l'action électrostatique et à fournir plusieurs degrés de sensibilité pour les mesures.

Avec un seul poids, la constante de l'instrument est de 250 volts par division; elle est de 500 avec deux poids et de 1.000 avec l'ensemble.

Les deux plateaux sont enfermés dans une cage métallique portée par des vis calantes; la suspension traverse le couvercle de cette cage et pénètre dans une seconde boîte semblable, mais vitrée, portée par la première et qui contient le fléau de balance.

On construit deux types de cet appareil permettant d'effectuer des mesures entre les limites suivantes :

N° 1	de	2.500	à	50.000 volts.
2	de	5.000	à	100.000 —

II.

APPAREILS ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES.

Ampèremètre pour tableau de distribution (*fig.* 4). — Cet appareil se compose d'un solénoïde à très faible résistance dans lequel se déplace une tige de fer doux soumise en même temps à l'action antagoniste d'un poids. Le déplacement est transmis à une aiguille indicatrice, mobile devant un cadran divisé.

Le solénoïde est constitué par trois grosses pièces en cuivre, découpées en forme d'U, séparées les unes des autres par des lames de mica et reliées en tension

par les extrémités de leurs branches. Le côté libre de la pièce inférieure communique avec une forte barre de cuivre percée d'un œillet ; le côté libre de la pièce supérieure est relié à une pièce semblable : ce sont les électrodes de l'appareil, elles se fixent au tableau de distribution à l'aide de deux grosses tiges filetées et deux écrous.

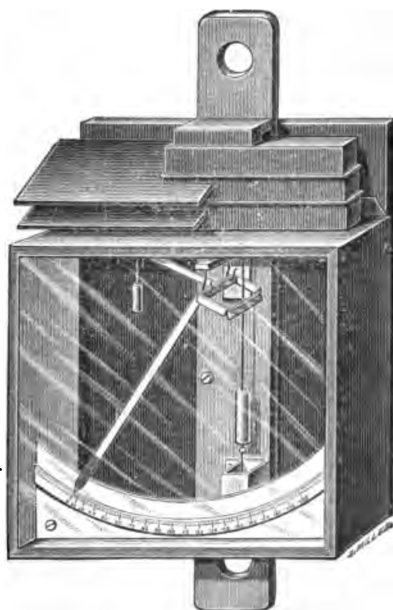


Fig. 4.
Ampèremètre pour tableau de distribution.

Les branches des U sont prolongées par des ailettes de cuivre inclinées à 45° sur la verticale, qui favorisent le renouvellement de l'air au voisinage et, par suite, contribuent au refroidissement du système.

L'équipage mobile est formé d'une simple tige de fil de fer très doux, fixé à l'un des côtés d'un petit cadre creux en platinoïde, suspendu par le côté opposé à deux crochets en laiton portés par une équerre horizontale fixée à l'électrode inférieure et servant d'axe de rotation. Cet axe porte encore deux tiges perpendiculaires à sa direction et perpendiculaires entre elles : l'une est l'aiguille indicatrice, l'autre un petit bras supportant un contrepoids.

La tige de fer est prolongée au-dessous du solénoïde et porte un manchon de laiton qui sert de guide

et s'oppose aux déviations latérales et enfin un disque amortisseur plongeant dans un petit récipient contenant de l'huile épaisse.

L'appareil comporte huit types :

N° 1.	de	0,25	à	5	ampères.
2.	de	1,00	à	20	—
3.	de	5,00	à	100	—
4.	de	10,00	à	200	—
5.	de	25,00	à	500	—
6.	de	50,00	à	1.000	—
7.	de	200,00	à	2.000	—
8.	de	400,00	à	4.000	—

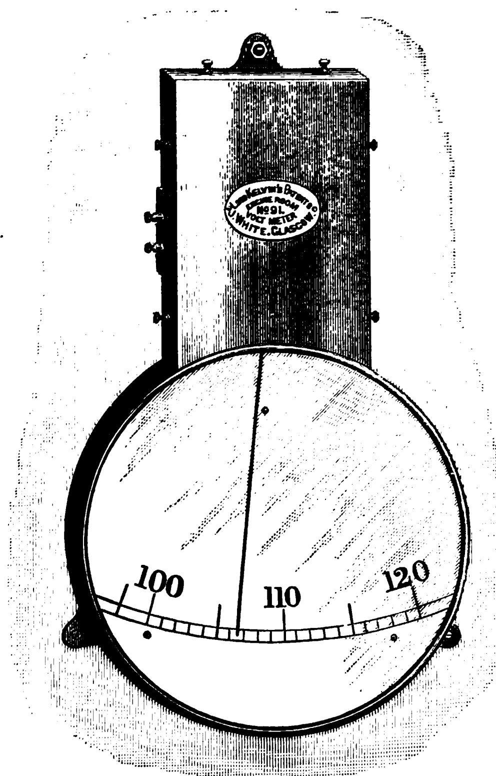


Fig. 5.
Voltmètre à grand cadran pour station centrale.

Voltmètre à grand cadran pour station centrale (*fig.* 5). — Ce voltmètre est spécialement construit pour les salles de machines des stations centrales; il a pour but de permettre de contrôler par une lecture facile à faire à distance, le voltage normal de l'installation; il en indique les variations à 10 volts près au-dessus ou au-dessous.

Voltmètre enregistreur. — Cet appareil est semblable, par son principe et sa construction, à l'ampèremètre qui précède, mais il est disposé de telle sorte qu'il ne fournit d'indication qu'entre deux limites déterminées à l'avance par le constructeur. Ce résultat est obtenu en fixant à la partie inférieure de la tige en fer doux, mobile dans le solénoïde, un poids reposant sur un point d'appui et qui n'est soulevé de ce siège qu'au moment où le potentiel atteint une certaine valeur. C'est à ce moment seulement que l'aiguille commence à donner une indication; un second arrêt en limite la course d'autre part.

Ainsi, pour une installation comportant le voltage normal de 110 volts, la tige du solénoïde est retenue par le poids tant que le potentiel n'atteint pas 100 volts, mais à partir de cet instant jusqu'à ce qu'il dépasse 120 volts, elle est libre; l'index de longue dimension parcourt dans cet intervalle toute l'étendue de l'échelle; les divisions sont écartées de 12 millimètres par volt et sont, par suite, très appréciables à distance.

Voltmètre enregistreur. — Cet appareil est encore fondé sur le même principe que les précédents.

Il comprend un long solénoïde vertical produisant un champ puissant; la tige mobile en fer doux est sup-

portée par des ressorts à boudin ; elle est pourvue à sa partie inférieure d'une plume de forme spéciale qui se déplace le long d'un tambour porte-papier, mû par un mécanisme d'horlogerie. Ce mouvement fait effectuer au cylindre une révolution en 12 ou 24 heures à volonté.

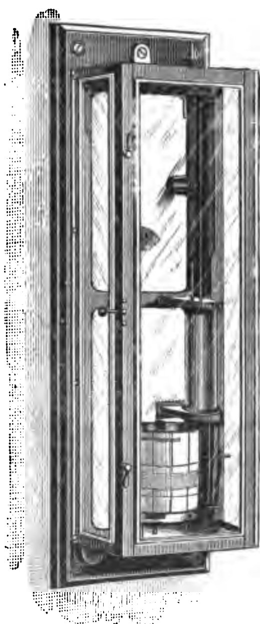


Fig. 6.
Voltmètre enregistreur.

On peut enlever facilement le tambour pour renouveler le papier ; on peut de même visiter et régler la plume. Le frottement de celle-ci est très léger et ne cause pas d'erreur appréciable dans l'inscription ; la forme du solénoïde met la tige de fer à l'abri des perturbations provenant des conducteurs voisins ; les indications de l'appareil sont exactes à 1,2 p. 100 près et l'étalonnage est permanent.

John Aylmer.

RECHERCHES

SUR LA

CONDENSATION DES GAZ DE L'ÉLECTROLYSE

PAR LES CORPS POREUX

ET EN PARTICULIER

PAR LES MÉTAUX DE LA FAMILLE DU PLATINE

APPLICATION A LA PILE A GAZ
ACCUMULATEURS ÉLECTRIQUES SOUS PRESSION

On sait que, dans l'électrolyse de l'eau par des électrodes de platine, les gaz hydrogène et oxygène séparés par l'action du courant n'apparaissent pas immédiatement après l'établissement de ce courant. De plus, après la rupture du circuit, une différence de potentiel persiste entre les deux électrodes, de sorte que, en fermant sur lui-même le voltamètre par un fil conducteur, il se produit un courant inverse de celui qui traversait d'abord le liquide.

On explique ces effets par la recombinaison des gaz hydrogène et oxygène condensés par le platine. La durée du courant ainsi obtenu est très faible.

Nous avons pensé qu'en prenant comme électrodes des substances capables d'emmagasiner beaucoup de gaz, nous aurions des chances d'obtenir de meilleurs effets au point de vue de la durée et de l'intensité du courant de décharge, sans rencontrer les inconvénients

inhérents à la pile à gaz de Grove, qui ne donne qu'un débit extrêmement faible à cause de sa grande résistance intérieure et de la lenteur de la recombinaison des gaz libres par le platine métallique.

Nous avons essayé d'abord la mousse de platine. Nous avons enfermé une certaine quantité de cette matière (6 grammes environ) dans deux petits sacs d'étoffe de soie dans chacun desquels pénétrait un fil de platine destiné à amener le courant. Ces sacs, placés dans de l'eau acidulée par l'acide sulfurique au 1/10 et reliés aux deux pôles d'une pile, ont été saturés de gaz par le passage du courant et ont fourni une décharge beaucoup plus intense et beaucoup plus prolongée que celle que l'on aurait obtenue avec le même poids de platine à l'état métallique ordinaire et non spongieux.

L'appareil fonctionnant, dans ces conditions, comme une véritable pile à gaz condensés, nous avons pensé qu'une forte pression augmenterait le pouvoir absorbant du platine en mousse. Pour le vérifier, nous avons enfermé l'appareil dans un réservoir en acier, et nous avons exercé sur lui, à l'aide d'une pompe hydraulique, des pressions que nous avons poussées jusqu'à 600 atmosphères. Ainsi que nous l'avions pensé, la durée du courant de décharge a augmenté beaucoup avec la pression. L'appareil est devenu un accumulateur d'énergie électrique pouvant se prêter à des mesures de capacité, de force électromotrice et de débit.

Les courbes ci-jointes (n° 1, *fig.* 1) représentent les résultats obtenus avec un appareil contenant 6 grammes de mousse de platine et intercalé sur un circuit de décharge d'une résistance de 2 ohms. Sur l'axe vertical sont portées les intensités du courant de décharge et,

sur l'axe horizontal, les temps. On voit que, sous la pression atmosphérique, la durée de la décharge n'est que de 10 secondes environ. La force électromotrice initiale, égale à 1^{volt},8, baisse sans discontinuité jusqu'à zéro.

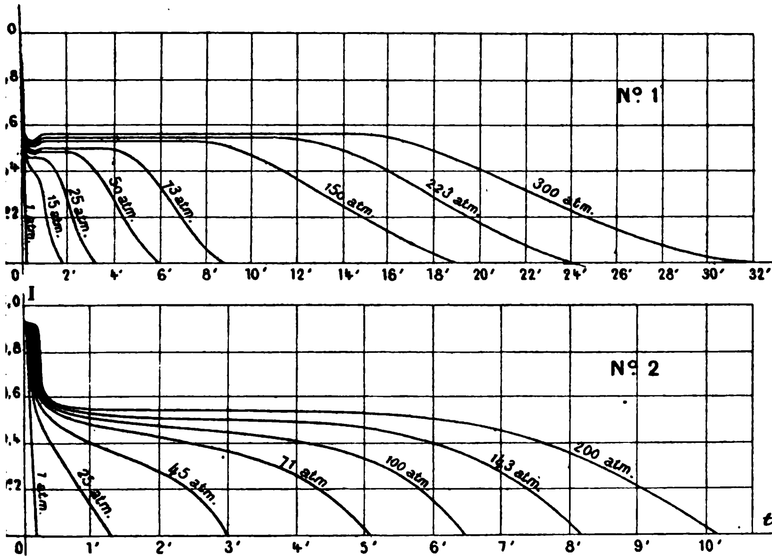


Fig. 1.

Si l'on opère sous des pressions plus élevées, l'allure de la décharge se modifie peu à peu et comprend trois périodes :

1° Une période de chute très rapide suivie d'une légère augmentation de l'intensité du courant;

2° Une période d'intensité constante. Cette intensité augmente un peu avec la pression. Pendant cette période, la force électromotrice de l'appareil est voisine de 1 volt;

3° Enfin, une nouvelle période de chute moins rapide que la première.

Si l'on calcule la capacité de l'accumulateur ainsi formé, en la rapportant à 1 kilogramme de mousse de platine, on trouve qu'elle est de 56 ampères-heure, pour une pression de 580 atmosphères. [On sait que la capacité pratique des accumulateurs industriels au plomb varie de 10 à 20 ampères-heure par kilogramme (*)].

Quant à l'intensité du courant de décharge, elle peut atteindre facilement 100 ampères par kilogramme.

Dès le début de nos expériences, nous avons remarqué qu'en employant, pour les deux pôles, des quantités égales de mousse de platine, le dégagement des bulles d'hydrogène se produisait bien avant celui des bulles d'oxygène. Nous en avons conclu que, pour obtenir d'un poids donné de matière le meilleur rendement, il fallait le répartir en quantités inégales aux deux pôles. Nous avons trouvé que le rapport à adopter était de trois parties pour le pôle négatif contre une pour le pôle positif.

Enfin, nous avons cherché à nous rendre compte du rendement de l'appareil, c'est-à-dire du rapport de la quantité d'électricité restituée par la décharge à celle fournie pendant la charge. Nous avons trouvé que ce rendement atteint des valeurs élevées (95 à 98 p. 100),

(*) Il est bien entendu, ainsi que l'a fait remarquer M. Mascart à la suite de notre communication à l'Académie, que le nombre que nous citons pour les accumulateurs industriels au plomb s'applique à leur capacité *pratique* rapportée au poids total de l'appareil et non au seul poids de matière active. On sait depuis longtemps qu'il est possible de construire des accumulateurs au plomb présentant une capacité plus élevée ; mais cet avantage est contre-balancé par la mise hors de service très rapide de ces appareils.

quand on ne pousse pas la charge à ses dernières limites et que la décharge lui succède immédiatement. Quand ces conditions ne sont pas remplies, l'accumulateur dissipe peu à peu sa charge en circuit ouvert, et le rendement diminue.

Nous avons soumis aux mêmes expériences plusieurs autres métaux de la famille du platine. M. Joly, directeur du laboratoire de chimie de l'École normale supérieure, où nous avons fait ces recherches, a bien voulu en préparer spécialement pour nous les quantités nécessaires, et dans un grand état de pureté.

L'iridium nous a donné des résultats tout à fait analogues à ceux du platine.

Le ruthénium est légèrement attaqué au pôle positif par la liqueur acide qui se colore en brun foncé. Malgré cela, il condense aussi les gaz de l'électrolyse et fournit un accumulateur dont la capacité augmente avec la pression. Mais sa force électromotrice ne se fixe pas à une valeur constante. Elle décroît d'une manière continue de $1^{volt},6$ à 0, sans manifester de tendance à rester stationnaire à aucun moment de la décharge, et cela aussi bien à la pression de 100 atmosphères qu'à la pression ordinaire.

De tous les métaux voisins du platine, le palladium est celui qui nous a donné les résultats les plus intéressants. Les propriétés condensantes pour l'hydrogène sont bien connues depuis les expériences de Graham. Ce physicien n'avait trouvé aucune trace d'oxygène condensé dans les expériences faites à ce sujet sur des lames ou des fils de ce métal. Nous avons vérifié, en effet, qu'un accumulateur formé de deux lames de palladium ne possède, même sous forte pression, qu'une capacité excessivement faible, à cause de la saturation presque

immédiate de la lame positive qui laisse dégager l'oxygène libre aussitôt le courant de charge fermé.

En employant le métal à l'état de mousse (obtenue par la calcination du cyanure) les résultats ont été entièrement différents, et nous avons obtenu des effets bien supérieurs à ceux donnés par les autres métaux du minerai de platine.

Même à la pression ordinaire, l'accumulateur, après avoir donné, à la décharge, une période de chute rapide, puis une légère surélévation de l'intensité du courant, fournit un débit constant. (On a vu que la mousse de platine ne commence à donner ce résultat qu'à partir de 20 à 30 atmosphères). A mesure que la pression augmente, on observe les mêmes effets généraux qu'avec le platine; mais, à pression égale et à poids égal de matière active, la capacité de l'accumulateur est de trois à quatre fois plus grande.

Ainsi, sous la pression de 600 atmosphères, cette capacité peut atteindre 176 ampères-heure par kilogrammes de mousse de palladium.

L'or précipité du chlorure par le gaz sulfureux a été reconnu apte à former aussi un accumulateur de capacité variable avec la pression. Cette capacité est, d'ailleurs, plus faible que celle obtenue avec le palladium ou le platine. L'allure de la décharge est également un peu différente de celle que donnent ces métaux.

(Voir les courbes ci-dessus, n° 2).

Enfin, avec l'argent, l'étain, le nickel, le cobalt qui ont été essayés dans les mêmes conditions, il y a altération chimique du métal au pôle positif. Il en est de même avec le charbon sous ses divers états. On a bien encore une certaine accumulation d'énergie électrique dans ces corps, mais une forte pression ne donne aucune

augmentation dans les résultats. Les effets observés sont probablement dus à une altération d'ordre chimique, comme celle à laquelle les accumulateurs au plomb doivent leurs propriétés. Pour le charbon, en particulier, le gaz qui se dégage au pôle positif après la saturation n'est pàs de l'oxygène pur, mais un mélange de ce gaz avec une très forte proportion d'acide carbonique. Ce résultat avait déjà été constaté (*).

En résumé, parmi les diverses substances essayées, les métaux nobles non susceptibles de s'altérer chimiquement au contact de l'électrolyte ou des produits de sa décomposition semblent seuls aptes à former des accumulateurs à gaz condensés dont la capacité augmente avec la pression. Pour quelques-uns de ces métaux, la capacité peut atteindre des valeurs élevées et notablement supérieures à celles que donnent, dans la pratique courante, les accumulateurs industriels au plomb.

L. Cailletet et E. Collardeau.

(*) Debray et Péchard, *Comptes rendus de l'Academie des sciences*, t. XI, p. 27, 1887.

NOTE SUR LE CALCUL DES FILIÈRES

Le problème se pose, en télégraphie sous-marine, de déterminer le diamètre d'une filière à fer pour le revêtement d'un câble de spécification donnée. Supposons qu'il s'agisse d'un câble, armé de seize brins de fil de fer jointifs de $2^{mm},5$. Nous admettrons que le pas de l'hélice soit connu par des raisons de construction ou par comparaison avec d'autres câbles. Pour avoir le diamètre théorique de la filière, il suffit de faire l'épure que nous allons indiquer.

Si nous admettons, tout d'abord, qu'une section droite du câble coupe les divers brins suivant des cercles, chacun d'eux occupera autour de l'axe du câble 1/16e de circonférence et la distance r de leurs centres à l'axe du câble sera donnée évidemment par

$$r = \frac{2,5}{2} : \sin \frac{2\pi}{32}.$$

Appelons h le pas connu, l'inclinaison des spires sur l'axe sera un angle φ donné par

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{2\pi r}{h}.$$

Adoptons tout d'abord cette valeur. — La section droite du câble coupe en réalité les divers brins du revêtement très sensiblement suivant des ellipses dont le grand axe est $\dfrac{2,5}{\cos \varphi}$ et le petit axe 2,5. Par raison de symétrie, le prolongement du petit axe rencontre

l'axe O du câble. Considérons la tangente commune à deux ellipses consécutives A et B. Chaque ellipse occupant 1/16e de circonférence autour de l'axe, cette tangente fait avec le petit axe de l'ellipse A, par exemple, un angle égal à $\frac{\pi}{16}$. Pour la déterminer, il suffit donc de mener à l'ellipse A une tangente parallèle à la direction qui fait un angle égal à $\frac{\pi}{16}$ avec le petit axe, problème qui se traite aisément avec la règle et le compas. Cette tangente rencontre le prolongement du petit axe en O, sur l'axe du câble. Ce point O tombera toujours évidemment en dehors de la développée de l'ellipse A. Le diamètre de la filière s'obtiendra donc en ajoutant dans notre cas 2,5 au double de la distance entre le point O et le centre de l'ellipse considérée.

On pourrait, avec ces nouvelles données, déterminer l'angle φ avec plus de précision et recommencer l'épure. Mais, en général, la détermination précédente doit suffire; car, pour tenir compte de la courbure des fils de fer au moment de leur passage à la filière et des diverses irrégularités provenant de la galvanisation ou d'une variation des diamètre des brins, on sera amené à donner $16^{mm},5$ par exemple à une filière, qui produira un câble ayant pour diamètre effectif $16^{mm}3$ (cas particulier spécifié plus haut).

16 janvier 1895.

J.-B. Pomey.

LA TÉLÉGRAPHIE MULTIPLE

M. Baudot a fait récemment, à la Société internationale des électriciens, sur la télégraphie multiple, une conférence qui constitue une véritable introduction à l'étude de l'appareil télégraphique imaginé par lui, dont les lecteurs des *Annales télégraphiques* connaissent déjà le principe (*) et dont nous espérons pouvoir bientôt décrire le type le plus récent. Cette conférence consacrée à l'examen de systèmes d'alphabets télégraphiques est pleine de renseignements. Nous en reproduisons la presque totalité (**).

Je crois utile de développer devant vous quelques idées générales sur la formation et les mérites respectifs des Codes de signaux susceptibles d'être utilisés.

Ces idées constituent, en quelque sorte, la philosophie de l'art des signaux. Cet exposé aura en outre l'avantage de vous faire connaître les liens de parenté existant entre mon système et quelques autres appartenant à la catégorie dans laquelle peuvent être groupés, pour les étudier, les *systèmes alphabétiques*.

Principes élémentaires de la Télégraphie alphabétique; différenciation des signes qu'elle utilise. — Dans les systèmes dits *alphabétiques*, les idées sont transmises à distance au moyen de signes conventionnels correspondant respectivement aux caractères

(*) *Annales télégraphiques*, t. VI, 1879, p. 354.

(**) V. Appareils télégraphiques à signaux indépendants, Baudot, *Annales télégraphiques*, t. IV, 1877, p. 20.

du langage écrit, c'est-à-dire aux lettres de l'alphabet. D'après cela, on conçoit que rien ne soit plus facile que de résoudre le problème général de la transmission de la pensée si, à la distance considérée, il est possible de faire apparaître un *nombre de signes* susceptibles d'être différenciés les uns des autres, égal au *nombre des lettres* de l'alphabet, c'est-à-dire de 25 à 28. Malheureusement, dès que cette distance devient un peu grande, il est toujours difficile, et même le plus souvent impossible, quelle que soit d'ailleurs la nature des signaux employés, de les produire d'une façon perceptible sous des aspects si variés.

Je ne m'occuperai pas ici des signaux optiques non plus que des signaux acoustiques, désirant entrer de suite dans le domaine électrique, qui vous intéresse plus spécialement. Voyons donc quels sont les signaux que l'électricité permet de reproduire à distance, à travers un fil métallique bien isolé du sol, reliant entre elles deux stations situées respectivement à ses deux extrémités.

On sait qu'une source électrique introduite dans un circuit conducteur, en un point quelconque de celui-ci, donne naissance à un courant dont le passage peut être mis en évidence par des instruments appropriés, dans un autre point quelconque de ce circuit. C'est ce phénomène qui sert de base à la télégraphie électrique. Les manifestations provoquées par le passage d'un courant électrique sont de plusieurs sortes et dépendent surtout du genre d'appareil récepteur utilisé. C'est ainsi qu'il est possible d'obtenir soit des effets physiologiques, soit des effets calorifiques, soit des effets chimiques tels que des décompositions de certains sels, ou encore des mouvements mécaniques. Tous ces

effets ont été mis à contribution pour la production des signaux télégraphiques, mais les derniers surtout, résultant pratiquement du passage des courants dans des organes électro-magnétiques, sont presque exclusivement utilisés dans les systèmes télégraphiques dont nous nous occupons en ce moment.

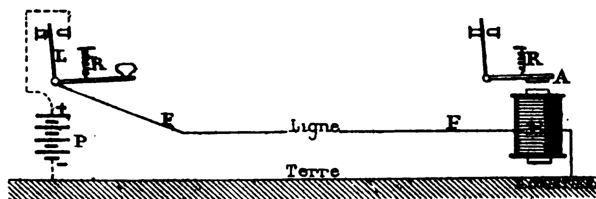


Fig. 1.

Les *fig.* 1, 2 et 3 montrent comment, en principe, cette manifestation des courants électriques peut être utilisée. Les circuits représentés dans les figures sont constitués au moyen d'un fil métallique unique reliant les deux postes en correspondance. On sait d'ailleurs, et je crois n'avoir pas à insister sur ce point, que le fait de mettre les deux extrémités de ce fil en communication avec la *terre* suffit à constituer un circuit entièrement conducteur, indispensable pour la circulation du flux électrique. Dans le cas de la *fig.* 1, l'abaissement du levier L introduit la source électrique P dans le circuit dont font partie le fil de ligne F, et le fil de la bobine de l'électro-aimant E installé dans le poste de réception. Il en résulte immédiatement une attraction de l'armature A par le pôle de cette bobine, qui l'oblige à s'abaisser malgré la résistance opposée à cet abaissement par le ressort R. L'armature A reste dans sa nouvelle position pendant toute la durée du passage du courant, c'est-à-dire pendant

tout le temps que reste abaissé le levier L du poste de départ. Il est facile de se rendre compte de l'exactitude avec laquelle tous les mouvements de ce levier pourront être instantanément reproduits par l'armature A; mais, comme ces mouvements se ressemblent, ils ne peuvent servir à former et reproduire à distance qu'*un signal unique.*

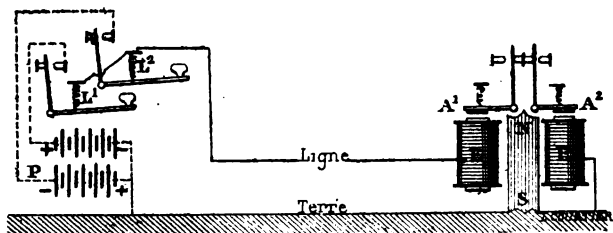


Fig. 2.

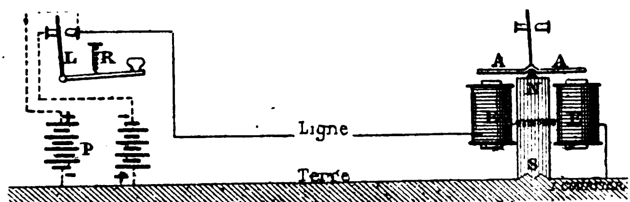


Fig. 3.

Il n'en est plus ainsi avec le dispositif représenté *fig.* 2, qui comporte deux leviers L_1 et L_2 au départ, et deux armatures A_1 et A_2 à l'arrivée. L'abaissement du levier L_1 provoque l'envoi, sur le fil de ligne d'un courant dit *positif*, à cause du pôle de la pile avec lequel il met ce conducteur en communication électrique. L'abaissement du levier L_2 donne naissance à une émission de sens contraire, c'est-à-dire *négatif*, pour une raison analogue. Ces courants de l'un et de

l'autre sens ont pour effet de donner une polarité magnétique différente aux sommets des deux bobines E, E, et comme les deux armatures A_1, A_2 sont elles-mêmes aimantées en permanence et de même façon par le voisinage de l'aimant fixe NS, il en résulte que, sous l'action du courant, l'une d'elles seulement est attirée alors que l'autre est repoussée. L'armature A_1 reproduira ainsi les mouvements effectués au départ par le levier L_1 et A_2 reproduira ceux de L_2. Avec ce dispositif de la *fig.* 2, le *nombre des signes distincts* pouvant être formés et reproduits instantanément est donc de *deux*.

Nous verrons plus tard les usages du dispositif représenté *fig.* 3, qui, soit dit en passant, ne permet de former et reproduire instantanément qu'*un seul signal*, comme celui de la *fig.* 1.

En résumé, nous sommes bien loin des vingt-cinq ou vingt-huit aspects du signal qui seraient cependant nécessaires pour représenter respectivement les lettres de l'alphabet. Mais on conçoit la possibilité d'obtenir le résultat cherché en faisant usage d'un nombre de conducteurs suffisant reliant les deux stations correspondantes. Les Codes I et II font voir les signaux qui seraient employés en pareil cas, suivant qu'on utiliserait, pour les transmettre et les recevoir, le dispositif de la *fig.* 1 (Code n° I), ou le dispositif de la *fig.* 2 (Code n° II).

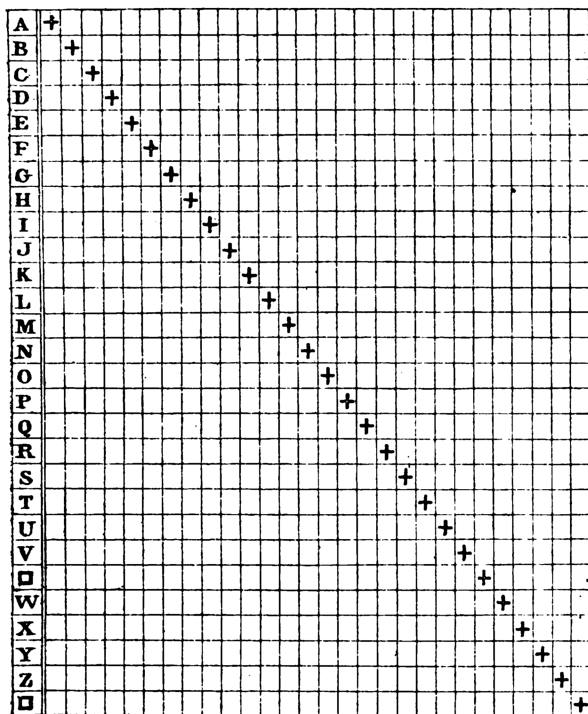
Mais il est possible d'obtenir un résultat identique avec un nombre beaucoup moins considérable de conducteurs, en mettant en pratique une méthode de différenciation des signaux qui joue un rôle capital dans la constitution des Codes télégraphiques.

Cette méthode consiste à représenter chacune des lettres de l'alphabet, non plus seulement par un signe

distinct *unique*, mais aussi par un signe *complexe* formé au moyen de l'association de deux ou plusieurs signes simples élémentaires.

CODE N° I (Hughes).

28 signaux simples. — Utilisation d'un seul sens du courant. — 28 fils ou moments.



C'est ainsi qu'ont été constitués les Codes nos III et IV, dans lesquels les émissions de courant *positives* et *négatives* faites à la station de départ sont respectivement représentées par les signes + et —, rangés dans les colonnes verticales correspondant aux fils de ligne qu'elles ont parcourus. Nous trouvons dans ces condi-

CODE N° II (OLSEN).

28 signaux simples. — Utilisation des deux sens du courant. — 14 fils ou moments.

A	+													
B	—													
C		+												
D		—												
E			+											
F			—											
G				+										
H				—										
I					+									
J					—									
K						+								
L						—								
M							+							
N							—							
O								+						
P								—						
Q									+					
R									—					
S										+				
T										—				
U											+			
V											—			
□												+		
W												—		
X													+	
Y													—	
Z														+
□														—

L. COURTIER

CODE N° III (WHITEHOUSE).

31 signaux simples et complexes. — Un seul sens du courant. — 5 fils ou moments.

1	+				
2		+			
3			+		
4				+	
5					+
6	+	+			
7	+		+		
8	+			+	
9	+				+
10		+	+		
11		+		+	
12		+			+
13			+	+	
14			+		+
15				+	+
16	+	+	+		
17	+	+		+	
18	+	+			+
19	+		+	+	
20	+		+		+
21	+			+	+
22		+	+	+	
23		+	+		+
24		+		+	+
25			+	+	+
26	+	+	+	+	
27	+	+	+		+
28	+	+		+	+
29	+		+	+	+
30		+	+	+	+
31	+	+	+	+	+

CODE [illegible]
(DAVY, [illegible]

26 signa[illegible] ou com[illegible] — Deu[illegible] du co[illegible] — 3[illegible] ou mo[illegible]

1	+
2	—
3	
4	
5	
6	
7	+
8	+
9	+
10	+
11	—
12	—
13	—
14	—
15	
16	
17	
18	
19	+
20	+
21	+
22	+
23	—
24	—
25	—
26	—

tions que le dispositif de la *fig.* 1, employé simultanément sur cinq fils de ligne, permettrait d'effectuer, au choix, l'un ou l'autre de 31 signaux, dont 5 simples, 10 doubles, 10 triples, 5 quadruples et 1 quintuple (*voir* Code III). De même, le dispositif de la *fig.* 2, employé simultanément sur trois fils seulement, permettrait d'effectuer, au choix, l'un quelconque des 26 signaux simples ou complexes du Code IV.

Ces deux codes de signaux ont été proposés dès les débuts de la télégraphie électrique, le premier par Whitehouse (*) en 1855 et le second par Davy (**) vers 1838 et Highton (***) en 1848.

Ainsi que vous pouvez en juger, l'emploi des signaux complexes permet de réaliser une économie considérable sur le nombre des fils de ligne nécessaires pour former le nombre de signaux distincts, suffisant à la représentation de toutes les lettres de l'alphabet; mais, en dépit de la réduction ainsi obtenue, il n'est pas permis de considérer la solution comme étant entièrement satisfaisante. Il est à peine besoin de faire remarquer, en effet, qu'en télégraphie le matériel de ligne est de beaucoup le plus important, le plus coûteux et le plus difficile à entretenir en bon état. D'autre part, il y a de graves inconvénients, qu'il est inutile d'exposer en détail ici, à multiplier sur les lignes, au delà d'une certaine limite, le nombre des conducteurs.

Est-il possible de réduire à *un seul* le nombre des fils indispensables pour établir une correspondance télégraphique ?

(*) Brevet anglais, 1855.
(**) Brevet anglais, 1838. V. *Annales télégraphiques*, t. IV, 1877, p. 22.
(***) Brevet anglais, 1848.

Oui, à la condition de faire usage du *temps* pour différencier les signaux. Il est vrai que le fait de l'emploi de cet élément de différenciation des signaux s'oppose à l'instantanéité de ceux-ci; mais il possède l'avantage considérable de permettre d'en former un nombre illimité.

Dans les procédés où le *temps* intervient pour la différenciation des signaux, on peut concevoir qu'il soit fait usage de la *répétition* d'un signal ou de sa *durée*, pour représenter les lettres et les distinguer les unes des autres. Ainsi, pour la première de ces deux méthodes, la lettre A peut être représentée au moyen d'un signal bref isolé, la lettre B par le même signal répété deux fois, etc..., la lettre Z étant, par suite, représentée par le même signal répété vingt-cinq fois. Ou bien, par la seconde méthode, la lettre A peut être représentée au moyen d'un signal bref, de durée égale à l'unité de temps par exemple, la lettre B par un signal de durée deux fois plus grande, etc., la lettre Z étant, par suite, représentée au moyen d'un signal de durée égale à vingt-cinq fois l'unité.

Ces deux méthodes ne seraient pas, il est vrai, très rapides, et exigeraient sans doute l'emploi d'instruments propres à compter le nombre des signaux ou à apprécier leur durée; mais *leur association* permet de former un code spécial, simple et très avantageux (*voir* Code n° V). La formation et la différenciation des éléments de ce code n'exigent le concours d'aucun instrument, car, d'une part, les *deux* seuls signaux élémentaires différenciés par leur *durée*, sont assez dissemblables pour ne pouvoir être confondus, l'un étant trois fois plus long que l'autre; et, d'autre part, le nombre des *répétitions* nécessaires pour arriver à

former une trentaine de signaux simples et complexes destinés à la représentation des lettres de l'alphabet ne dépasse pas *quatre*. Dans le tableau représentant le Code n° V, les *durées* respectives des deux signes élémentaires ainsi différenciés sont figurées par des barres *courtes* et *longues*. Ces signes et leurs répétitions forment 2 signaux simples, 4 signaux doubles, 8 signes triples et 16 signes quadruples. C'est le code Morse qui est utilisé en télégraphie depuis près d'un demi-siècle et que tout le monde connaît aujourd'hui. Il peut être transmis à distance au moyen du dispositif représenté par la *fig.* 1.

La composition de ce code en suggère immédiatement un autre que fait voir le tableau n° 6, dans lequel les deux signes élémentaires répétés deux, trois ou quatre fois sont simplement différenciés, non plus par leur durée, mais par un moyen que l'électricité met à notre disposition et qui n'est autre que celui de la *fig.* 2. C'est le code dont s'est servi Sir William Thomson (*) pour la correspondance télégraphique à travers les longs câbles sous-marins, et qui actuellement encore est utilisé pour le même usage. Il a été employé également dans divers systèmes télégraphiques parmi lesquels on peut citer ceux d'Herring (**), Estienne (***), etc.

Il est un autre moyen, et non le moins fertile en combinaisons utiles et pratiques, de faire intervenir le *temps* dans la formation des signaux : il consiste à tenir compte du *moment* où le signal est produit, ou,

(*) *Annales télégraphiques*, t. XV, 1888, p. 200.
(**) *Annales télégraphiques*, t. I, 1874, p. 331.
(***) *Annales télégraphiques*, t. XII, 1885, p. 107 et t. XXI, 1894, p. 249.

CODE N° V (Morse).

30 signaux simples et complexes. — Un seul sens et deux durées du courant. — Répétitions jusqu'à quatre fois.

E	—														
T	—	—	—												
I	—		—												
A	—		—	—	—										
N	—	—	—		—										
M	—	—	—		—	—	—								
S	—		—		—										
R	—		—	—	—		—								
D	—	—	—		—		—								
G	—	—	—		—	—	—		—						
U	—		—		—	—	—								
W	—		—	—	—		—	—	—						
K	—	—	—		—		—	—	—						
O	—	—	—		—	—	—		—	—	—				
H	—		—		—		—								
L	—		—	—	—		—		—						
B	—	—	—		—		—		—						
Z	—	—	—		—	—	—		—		—				
F	—		—		—	—	—		—						
P	—		—	—	—		—	—	—		—				
C	—	—	—		—		—	—	—		—				
ö	—	—	—		—	—	—		—	—	—		—		
V	—		—		—		—	—	—						
ä	—		—	—	—		—		—	—	—				
X	—	—	—		—		—		—	—	—				
Q	—	—	—		—	—	—		—		—	—	—		
ü	—		—		—	—	—		—	—	—				
J	—		—	—	—		—	—	—		—	—	—		
Y	—	—	—		—		—	—	—		—	—	—		
Ch	—	—	—		—	—	—		—	—	—		—	—	—

CODE N° VI (Thomso

36 signaux simples et compl

Deux sens du courant.

Répétitions jusqu'à quatre

E	+				
T	—				
I	+		+		
A	+		—		
N	—		+		
M	—		—		
S	+		+		+
R	+		—		+
D	—		+		+
G	—		—		+
U	+		+		—
W	+		—		—
K	—		+		—
O	—		—		—
H	+		+		+
L	+		—		+
B	—		+		+
Z	—		—		+
F	+		+		—
P	+		—		—
C	—		+		—
ö	—		—		—
V	+		+		+
ä	+		—		+
X	—		+		+
Q	—		—		+
ü	+		+		—
J	+		—		—
Y	—		+		—
Ch	—		—		—

si l'on veut, du *temps* qui s'est écoulé depuis *un moment déterminé* pris comme *point de départ*, jusqu'à celui où il est produit. Cette méthode implique, bien entendu, la nécessité de faire usage d'instruments propres à mesurer le temps soit par le déplacement progressif d'une aiguille devant les divisions d'un cadran comme avec les horloges, soit de toute autre façon. La *fig.* 4 représente précisément une applica-

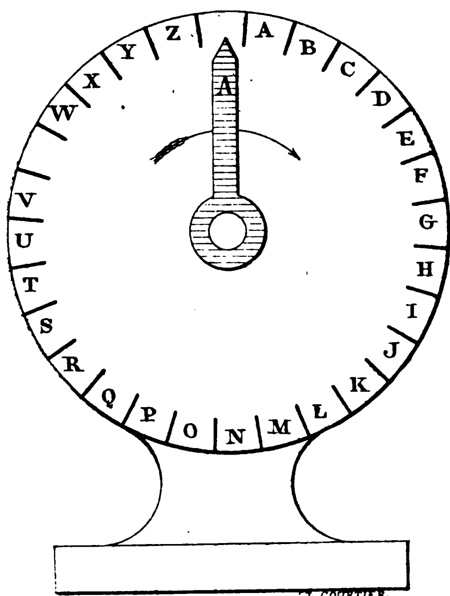


Fig. 4.

tion de ce procédé. Une aiguille A, commandée par un rouage d'horlogerie à vitesse régularisée, passe successivement devant les 28 divisions d'un cadran qui, au lieu d'heures, portent respectivement les images des lettres de l'alphabet. Au repos de l'appareil, l'aiguille se trouve sur une division du cadran

qui ne porte l'empreinte d'aucune lettre. Nous supposerons les deux postes qui doivent entrer en correspondance, munis d'un instrument semblable, et nous admettrons qu'ils sont déjà en communication au moyen du dispositif représenté *fig.* 1. En abaissant son levier L, le transmetteur prévient son correspondant qu'il va mettre en marche son aiguille et qu'il ait à en faire autant.

Si les deux opérations sont bien faites simultanément, ce qui est d'ailleurs facile à obtenir automatiquement par les effets du courant électrique envoyé sur la ligne, les deux aiguilles des deux postes correspondants passent aux mêmes instants devant les divisions de leurs cadrans portant des lettres identiques. On dit qu'elles sont en *synchronisme*. Cette situation réciproque des aiguilles peut être conservée indéfiniment, si l'on prend soin, à chacune des révolutions qu'elles accomplissent devant leurs cadrans respectifs, de signaler le passage de l'aiguille du poste de départ devant la division vide servant de *point de repère*, et de rectifier, s'il y a lieu, la position de l'aiguille au poste d'arrivée, en tenant compte de ce signal spécial qui, en raison de son rôle, peut être désigné sous le nom de *correcteur*.

Dans ces conditions, le transmetteur n'a plus qu'à signaler, par l'abaissement de son levier L, le passage de son aiguille devant les lettres qu'il veut transmettre, l'opérateur préposé à la réception inscrivant au fur et à mesure les lettres que lui désigne son aiguille, alors qu'apparaissent les signaux de son correspondant.

Dans un système de ce genre, la valeur de chacun des signaux dépend exclusivement, comme on le voit,

du *moment* où il est produit (*voir* Code I); mais on peut simultanément faire usage de la différenciation par le *sens* du courant et par le *moment* de l'émission. Il suffit d'employer le dispositif de la *fig.* 2 et le cadran de la *fig.* 5. Dans ce cas, le signal apparais-

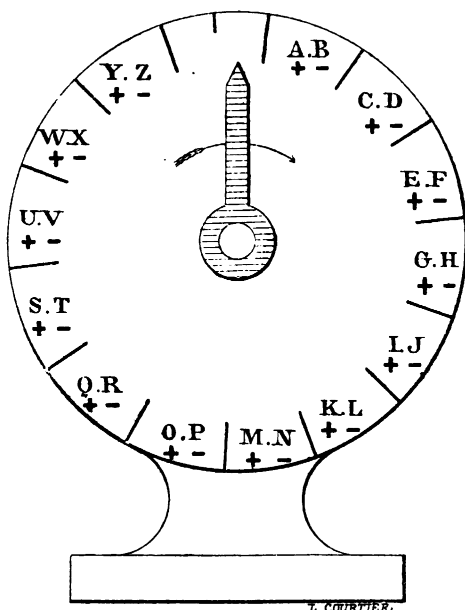


Fig. 5.

sant au moment où les aiguilles se trouvent sur une division déterminée représente une lettre ou une autre, suivant le sens du courant ayant servi à le transmettre (*fig.* 5, Code II).

L'application de mouvements synchroniques à la télégraphie est d'ailleurs très ancienne. Elle a été faite par les Romains, qui différenciaient ainsi les signaux lumineux produits par l'agitation de torches

enflammées. Leur appareil servant à mesurer le temps était la *clepsydre*, sorte d'horloge à eau. Cet instrument était constitué par un vase bien calibré contenant de l'eau qu'on pouvait faire écouler au moment opportun, en tournant simplement un robinet placé à sa partie inférieure. Sur l'eau était placé un *flotteur*, dont la position par rapport aux divisions d'une règle disposée verticalement à l'intérieur de ce vase, accusait ses variations de niveau.

Les deux correspondants, installés sur des points élevés et munis chacun d'un vase semblablement agencé, attendaient, s'observant mutuellement. Celui qui avait une communication à transmettre donnait le signal d'ouverture des robinets en élevant sa torche; et comme cette ouverture était faite simultanément dans les deux postes, les deux flotteurs, partis d'un même point symétrique, descendaient avec une vitesse égale devant les divisions semblables des deux règles verticales. Lorsque la division correspondant à l'ordre ou au renseignement faisant l'objet de la communication était indiquée par les flotteurs, elle était signalée par un mouvement de la torche de l'expéditeur, et l'opération était terminée. C'était, comme on voit, assez simple. A la fin du dernier siècle, Claude Chappe, l'inventeur du Télégraphe aérien, a essayé un système de ce genre. L'horloge avec laquelle il fit ses essais est religieusement conservée par les membres de sa famille.

On peut simplifier beaucoup les opérations de transmission, de réception et de traduction des signaux différenciés, soit exclusivement par le *moment* de leur apparition, soit à la fois par ce *moment* et le *sens* du

courant qui les transmet, en rendant ces opérations presque automatiques.

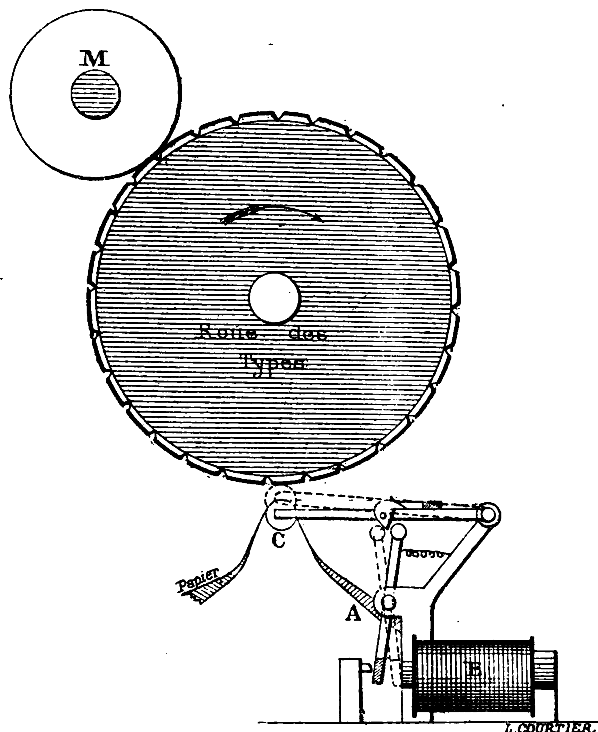


Fig. 6

Le poste transmetteur est alors disposé comme le fait voir la *fig.* 7. Au lieu du cadran présentant l'image des lettres sur ses divisions, et d'une aiguille indicatrice qui les désigne successivement et périodiquement, nous avons ici deux couronnes métalliques concentriques, sur lesquelles glissent régulièrement deux frotteurs ou *balais* conjugués F, F′, également métalliques, entraînés avec une vitesse uniforme par un

rouage d'horlogerie dont le mouvement est régularisé

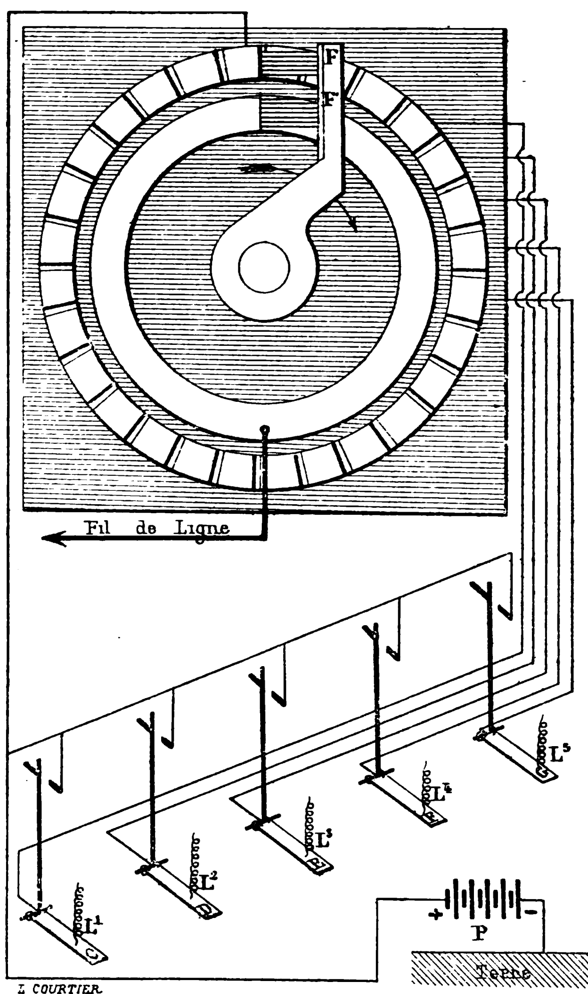


Fig. 7.

comme dans le cas précédent. L'une des couronnes est entière; elle est reliée électriquement au fil de

ligne qui, par les frotteurs FF′, se trouve successivement et régulièrement mis en communication avec les 28 divisions de l'autre couronne, laquelle est constituée par 28 blocs ou secteurs métalliques isolés soigneusement les uns des autres. A chacun de ces blocs est relié un levier L analogue à celui de la *fig.* 1, et les 28 leviers ou *touches* du clavier ainsi constitué portent respectivement l'empreinte des lettres de l'alphabet. (Pour simplifier la *fig.* 7, il n'a été représenté que 5 des 28 touches de ce clavier.)

L'ensemble, formé par la double couronne métallique et le double frotteur également métallique entraîné par un rouage d'horlogerie, constitue un *distributeur*.

Au poste d'arrivée se trouve également un organe mobile animé d'une vitesse uniforme, mais ce n'est ni une aiguille, ni un frotteur métallique. C'est une roue dite *roue des types*, parce qu'elle porte sur sa circonférence, gravés en relief et répartis sur 28 divisions égales, des caractères typographiques correspondant respectivement aux lettres de l'alphabet. Au-dessous de cette roue, dont les caractères sont constamment imprégnés d'encre par la molette M (*fig.* 6), se trouve un petit cylindre C, servant de point d'appui et de guide à une bande de papier. La projection du papier sur l'un quelconque des caractères encrés peut être provoquée par le déplacement de l'armature A, attirée par l'électro-aimant E sous l'influence du passage d'un courant électrique dans sa bobine. Ce dispositif fait assez comprendre comment, la roue des types tournant et faisant ainsi passer successivement tous ses caractères au-dessus du papier, il est possible d'imprimer une lettre quelconque sur celui-ci, à la condi-

tion d'envoyer un courant électrique dans l'électro-aimant E, *à un moment déterminé.*

Pour utiliser ce dispositif de la *fig.* 6 comme organe de réception des signaux formés et transmis au moyen du dispositif de la *fig.* 7, on conçoit la nécessité de faire partir d'un même point symétrique, et avec une vitesse identique, les frotteurs de la *fig.* 7 et la roue des types de la *fig.* 6. Cette condition peut être remplie de la façon suivante : l'une des divisions du distributeur, au poste de départ, est en permanence reliée à l'un des pôles de la source électrique P. A chaque révolution des frotteurs de ce distributeur correspond donc une émission de courant sur le fil de ligne. C'est le signal *correcteur.* Par un moyen mécanique dont les détails importent peu ici, ce signal a pour effet de maintenir ou ramener la roue des types du poste récepteur dans une position angulaire déterminée; et, comme la vitesse de rotation des frotteurs au départ et celle de la roue à l'arrivée sont sensiblement égales, il en résulte que ces deux organes mobiles sont toujours *en synchronisme*, et que la roue doit présenter au papier une lettre déterminée, au moment même où le frotteur passe sur celui des secteurs du distributeur qui est relié à la touche du clavier portant l'empreinte de cette lettre. Si donc l'opérateur appuie sur cette touche lors du passage du frotteur sur le secteur en question, — il dispose de la durée presque entière d'une révolution pour effectuer cette préparation du signal, — on comprend qu'il doive en résulter, à l'arrivée, l'impression de la lettre touchée, grâce au courant qui, à travers la ligne, va actionner au moment convenable l'armature A et provoquer le soulèvement de la bande de papier.

Ainsi peuvent être réalisées pratiquement et presque automatiquement les opérations de *transmission*, de *réception* et de *traduction* des signaux, ainsi que l'*impression* des lettres qui leur correspondent.

Ce procédé télégraphique n'est autre, en principe, que celui du professeur Hughes, dont l'appareil imprimeur est, actuellement encore, le plus généralement employé par les Administrations télégraphiques d'Europe (Code I).

L'examen de ce mode de transmission des signaux montre que, en moyenne, la transmission d'une lettre exige un *temps* relativement considérable. Au cours d'une révolution des frotteurs du distributeur de la station de départ et de la roue des types de la station d'arrivée, il s'écoule 28 *moments* pendant chacun desquels un signal pourrait être produit; mais les lettres formant les mots de la correspondance se suivent dans un ordre tel qu'en moyenne il n'est guère possible de trouver plus de deux lettres à prendre par révolution. Dans le cas de l'appareil Hughes, notamment, on compte seulement sur une lettre et demie par tour de la roue des types. On est donc obligé de laisser passer, sans faire aucun signal, environ 18 *moments* entre deux signaux consécutifs. Ceci, bien entendu, représente une *moyenne* parce que certains groupements de lettres peuvent être pris et transmis en une seule révolution.

Est-il désirable de faire mieux, c'est-à-dire, dans l'espèce, plus rapidement? Il n'y a pas à en douter. Mais est-ce possible ?

La réponse à cette question est implicitement contenue dans tout ce qui précède, car il est possible

d'appliquer à la réduction du nombre des *moments* nécessaires pour transmettre une lettre au moyen d'un fil unique les procédés qui viennent d'être exposés et qui permettent de réduire le nombre des *conducteurs*.

Tout d'abord, on conçoit qu'un distributeur, dont la couronne serait partagée en 14 divisions seulement au lieu de 28, pourrait se prêter à la transmission de 28 lettres, à la condition de relier chacune de ces divisions à deux leviers transmetteurs au lieu d'un, c'est-à-dire en faisant usage du dispositif de la *fig.* 2 au lieu de celui de la *fig.* 1 pour la transmission électrique des signaux. Une modification, facile à réaliser, de la *fig.* 6 permettrait de traduire ces signaux à l'arrivée et d'effectuer automatiquement l'impression des lettres. Cette méthode réduirait le nombre des *moments* perdus, en moyenne, entre deux lettres consécutives, à neuf environ. Il a été réalisé plusieurs systèmes télégraphiques basés sur cette méthode de transmission des signaux; mais aucun n'a été utilisé d'une façon suivie dans l'exploitation télégraphique. On peut citer, dans ce genre, les appareils de Rouvier (*) et d'Olsen (**) (Code II).

Voyons maintenant ce que va nous permettre d'économiser, *en unités de temps*, le procédé qui consiste à représenter les lettres, non seulement par des *signaux simples*, mais encore par des *signaux complexes* formés par le groupement de plusieurs signaux simples élémentaires. La *fig.* 7, avec ses 5 leviers L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, nous permet de comprendre la formation des 31 signaux

(*) *Annales télégraphiques*, 2e série, t. III, 1860, p. 5 et 3e série, t. I, 1874, p. 192.

(**) *Annales télégraphiques*, t. VI, 1879, p. 417.

simples et complexes du Code III, et nous fournit un dispositif qui nous permet de les transmettre par un fil unique, dans le temps que mettent les frotteurs à glisser sur les 5 secteurs métalliques du distributeur reliés respectivement à ces 5 leviers. Il faut cinq fois plus de temps et cinq fois moins de conducteurs qu'il ne nous en fallait alors que nous ne différenciions les signaux que par la multiplicité des fils de lignes.

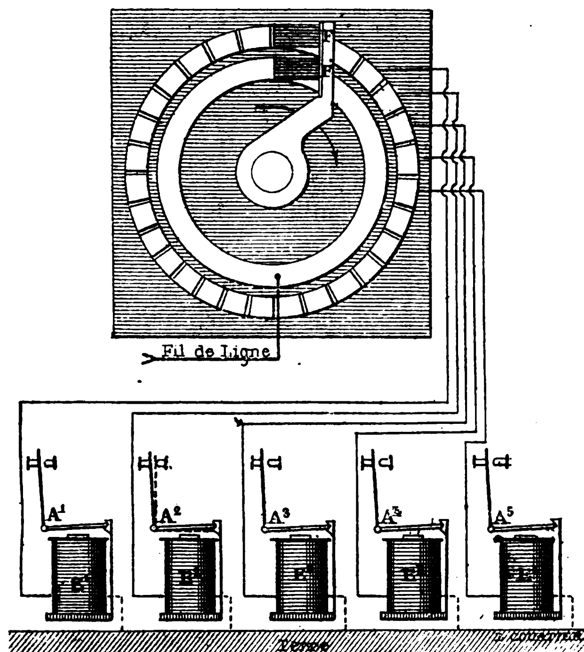


Fig. 8.

La réception de ces signaux dans le poste d'arrivée peut être faite par l'intermédiaire d'un distributeur semblable à celui du poste de départ, aux divisions duquel seraient reliés des électro-aimants, comme cela est indiqué dans la *fig.* 8. Disposées comme le

montre cette figure, les armatures des cinq électro-aimants récepteurs sont susceptibles de reproduire, par leurs positions respectives entre leurs butoirs, les positions données aux leviers L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, par le transmetteur; elles peuvent même s'immobiliser sous l'action de ressorts à encoches emmagasinant ainsi le signal simple ou complexe reçu de façon à donner le temps d'en opérer la traduction. Il est bien entendu que la réception correcte des signaux dans la station d'arrivée comporte une marche synchronique entre les frotteurs des distributeurs correspondants, laquelle marche peut être obtenue et conservée par des moyens analogues à ceux que nous avons supposés pour la traduetion des signes du Code I, *fig.* 6 et 7.

Le nombre des moments écoulés pendant la transmission complète d'une lettre avec ce procédé, est seulement de *cinq*. Mais ce nombre peut encore être réduit, si on relie chaque secteur du distributeur, au départ avec deux leviers L, et à l'arrivée avec deux électro-aimants E à armatures polariséés, c'est-à-dire si l'on substitue le dispositif représenté *fig.* 2 à celui de la *fig.* 1. Dans ce cas, *trois divisions* des distributeurs suffisent, avec 3 doubles-leviers au départ et 3 électro-aimants à double armature à l'arrivée, pour former, transmettre et recevoir les 26 signaux simples ou complexes du Code II.

Dans ce qui précède, il n'est question que des organes de réception des éléments de signaux des Codes III et IV, et nous venons de supposer que l'opérateur préposé à leur réception se chargeait d'en effectuer la traduction et la copie; mais il est possible de faire pour les signaux de ces Codes comme pour ceux des Codes I et II, c'est-à-dire de les traduire auto-

matiquement en imprimant en caractères typographiques les lettres qu'ils représentent.

Je ne puis, faute de temps, entrer dans le détail des moyens à employer pour obtenir ce résultat; mais, en raison de l'intérêt que présente le sujet, je vais essayer d'indiquer sommairement le principe de quelques-unes des solutions proposées dans les débuts de la Télégraphie électrique.

En faisant servir les signes élémentaires des Codes III, IV, V et VI, pour commander les organes d'un mécanisme ayant pour but de déplacer angulairement, par fractions déterminées, une roue des types en face d'une bande de papier (*fig.* 6), on peut placer cette roue dans une position telle qu'elle présente au papier un type quelconque, choisi parmi tous ceux qui garnissent son pourtour. Il est ensuite facile de provoquer le mouvement ascensionnel du papier qui déterminera l'impression désirée. Ce placement de la roue dans toutes les positions possibles est obtenu à la condition que les organes mécaniques, commandés par les signaux élémentaires des Codes, agissent sur elle, soit directement, soit indirectement, en la faisant tourner d'une quantité déterminée et différente pour chacun d'eux, suivant les règles que je vais résumer ci-après.

Les cinq signaux élémentaires du Code III doivent avoir respectivement pour effet de provoquer des avancements de 1, 2, 4, 8, 16 divisions de la roue, leur travail se totalisant pour produire l'avancement définitif qui amène au-dessus du papier le caractère choisi. Ainsi le signal complexe occupant le neuvième rang dans le tableau-Code III devra provoquer deux déplacements angulaires successifs de la roue, le pre-

mier égal à 1 division, le second à 16 divisions, soit en tout 17 divisions.

Les trois signaux élémentaires du Code IV doivent avoir respectivement pour effet de faire tourner la roue de 1, 3, 9 divisions s'ils sont produits par des *courants positifs*, ou de 2, 6, 18 divisions s'ils sont produits par des *courants négatifs*. Ainsi le signal complexe occupant le dixième rang dans le tableau-Code IV devra provoquer deux déplacements angulaires successifs de la roue, le premier de 1 division et le second de 18, soit un déplacement total de 19 divisions.

Les quatre signaux élémentaires des Codes V et VI doivent avoir respectivement pour effet de faire tourner la roue de 1, 2, 4, 8 divisions s'ils sont *brefs* (Code V), ou s'ils sont produits par des *courants positifs* (Code VI), et de 2, 4, 8, 16 divisions s'ils sont *longs* (Code V), ou s'ils sont produits par des *courants négatifs* (Code VI). Ainsi, le signal complexe occupant le dixième rang des tableaux-Codes V et VI devra provoquer trois avancements successifs de la roue, le premier de 2 divisions, le second de 4 divisions et le troisième de 4 divisions également, soit un déplacement total de 10 divisions.

Cette méthode de traduction des signaux complexes au moyen de mouvements progressifs imprimés à une roue des types date de longtemps ; elle a été proposée dès 1848 par Highton, et Wheatstone l'utilisait en 1859. Actuellement, M. Cassagne l'emploie pour traduire les signaux du Code n° IV dans un appareil sténographique qu'il tente d'appliquer à la Télégraphie.

Il est, je crois, inutile d'insister davantage sur cette méthode, non plus que sur d'autres procédés fournissant des solutions diverses au même problème ; nous

aurons d'ailleurs l'occasion d'y revenir. Il nous suffit, pour le moment, de savoir que la *traduction des signaux* les Codes III, IV, V et VI et de leurs dérivés est pratiquement réalisable, ainsi que l'*impression automatique* des lettres qu'ils représentent.

Résumons maintenant notre étude relative à la constitution de Code de signaux. Ainsi que nous l'avons vu, tous peuvent être transmis au moyen d'un seul conducteur; mais le temps exigé pour cette transmission n'est pas le même pour chacun d'eux. Or, le *temps* est un élément qui a une importance considérable en Télégraphie comme en toutes choses, et il y a intérêt à l'économiser. Voyons donc les rendements comparés qui seraient susceptibles de donner, toutes choses étant égales d'ailleurs au point de vue des procédés électriques de transmission et de réception de leurs éléments respectifs, les Codes de signaux I, II, III, IV, V et VI.

Pour cette comparaison, nous devrons d'abord observer que le *temps* réclamé pour la transmission d'une lettre représentée par les signaux des Codes I, II, V, et VI n'est pas toujours le même, et ne peut être évalué qu'en se basant sur une *moyenne*. Nous devrons également tenir compte du fait que les intervalles de séparation entre les mots de la correspondance doivent être considérés comme autant de lettres dans le cas des Codes I, II, III et IV, puisqu'ils exigent la transmission d'un signal complet; tandis qu'ils sont formés par une simple interruption dans les signaux des Codes V et VI. Faisons également remarquer que si les signaux de ces Codes V et VI peuvent se suffire à eux-mêmes, pour la différenciation de leurs

éléments au point de vue du *temps*, puisqu'ils sont constitués par des *répétitions* de ces éléments, c'est à la condition de les séparer nettement les uns des autres par un intervalle ; il en est de même des signaux complexes représentant des lettres qui doivent également être séparés les uns des autres, mais par un intervalle plus grand. Ces séparations, qui sont indispensables, augmentent dans des proportions considérables le temps exigé pour la transmission du *mot moyen*.

Il n'en est pas de même pour les signaux I, II, III et IV, dans lesquels le *moment* correspondant à un élément distinct du signal peut suivre ou précéder, sans *aucune interruption*, le *moment* voisin. Mais il y a lieu de tenir compte, pour la transmission des signaux de ces derniers Codes, du signal spécial que nous avons signalé sous le nom de *correcteur* ou de son équivalent, qui a pour effet de donner aux autres leur valeur exacte au point de vue du *moment* où ils apparaissent, mais qui, en réalité, exige pour lui-même un temps qui n'est pas consacré à la transmission des signaux représentant des lettres.

Or, en tenant compte de toutes ces considérations, et en adoptant comme *unité de temps* soit la durée de l'émission la plus brève, soit l'intervalle le plus bref pouvant séparer deux émissions consécutives, soit encore le temps séparant deux *moments* consécutifs susceptibles de donner deux significations différentes aux émissions de courant qui s'y produisent, on trouve que le *mot moyen*, avec l'intervalle qui le sépare du mot suivant, exige :

Avec les signaux du Code n°	I	112 unités.
—	II	56 —
—	III	32 —
—	IV	20 —
—	V	50 —
—	VI	40 —

Inversement, on peut dire que, en un *temps* donné et dans des conditions électriques identiques, il serait possible de transmettre :

Avec le Code n°	IV	500 mots.
—	III	312 —
—	VI	250 —
—	V	200 —
—	II	178 —
—	I	89 —

De ces chiffres il résulte que le Code de signaux permettant d'obtenir le rendement le plus élevé sur un fil de ligne est le Code n° IV, puis vient le Code n° III, etc., en admettant, bien entendu, que le nombre des émissions de courant pouvant être faites et recueillies sur ce fil ne soit pas illimité. Il est certain, en effet, que si ce nombre était illimité, le nombre des éléments de signaux entrant dans la représentation d'une lettre n'aurait que peu d'importance; mais, en réalité, sur nos lignes télégraphiques, il ne l'est pas. La propagation du flux électrique ne s'opère pas, en effet, d'une façon identique sur tous les conducteurs, et, avant de décider que tel Code est plus avantageux que tel autre, il convient d'examiner dans quelles conditions leurs éléments de signaux, transmis au moyen d'émissions de courant, peuvent être reproduits à l'extrémité d'une longue ligne.

Dans ce but, nous allons analyser les phénomènes auxquels donnent lieu, en pratique, les courants élec-

triques se manifestant à l'extrémité d'une longue ligne télégraphique.

Lors de l'abaissement du levier L (*fig.* 1), le flux électrique se propage à travers le conducteur jusqu'à l'appareil récepteur du poste correspondant; mais cette propagation est loin d'être instantanée. Sa durée dépend à la fois de la *capacité* de ce conducteur, de sa *résistance* et aussi de la *self-induction* dont il peut être le siège. C'est donc un instant seulement après l'introduction de la source électrique dans le circuit qu'un mouvement électrique se manifeste dans la station d'arrivée, presque insensible d'abord, mais augmentant progressivement.

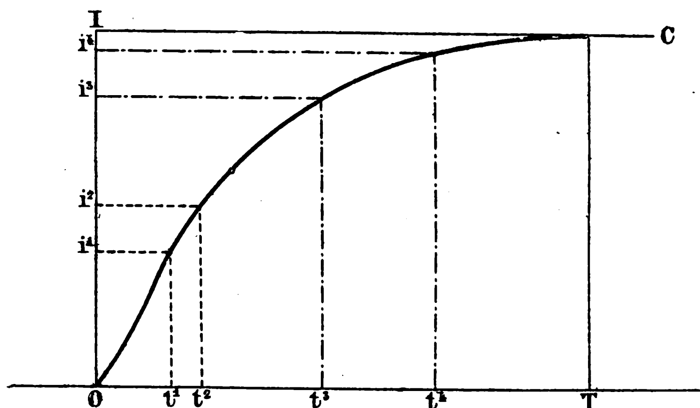


Fig. 9.

La loi suivant laquelle croît l'intensité du courant électrique à l'extrémité d'un long fil est représentée par la courbe OC (*fig.* 9), dans laquelle les ordonnées OI correspondent aux variations de cette intensité, après des temps marqués sur la ligne OT. L'intensité va d'abord en augmentant très rapidement, puis plus

lentement, pour atteindre bientôt une valeur maximum qui dépend exclusivement de la force électro-motrice mise en jeu et de la résistance du conducteur, si l'isolement de celui-ci est parfait. Le temps OT est environ 2/100 de seconde sur une ligne télégraphique ordinaire de 500 kilomètres de longueur; mais cette indication ne peut être que très approximative, car ce temps varie dans d'assez grandes proportions avec la nature de la ligne et les conditions dans lesquelles elle se trouve. Il varie aussi dans des proportions appréciables avec la nature de l'appareil récepteur destiné à accuser le passage du courant à l'arrivée, et son coefficient plus ou moins élevé de self-induction.

A l'examen de la *fig.* 9, on comprend que l'arrivée du flux électrique devra être signalée plus ou moins tôt par l'appareil récepteur, suivant la sensibilité plus ou moins grande de celui-ci. Si, en effet, elle obéit à un courant d'une intensité Oi^1, l'armature de l'électro-aimant E (*fig.* 1) s'abaissera après un temps Ot^1, tandis que si elle ne peut obéir qu'à un courant d'une intensité Oi^2, elle s'abaissera qu'après un temps Ot^2. Les conséquences de cette observation seraient inquiétantes, étant donné que *la valeur* de chacun des éléments de signaux leur est attribuée d'après le moment où ils apparaissent, si, pour des raisons quelconques, la loi d'accroissement de l'intensité du courant à l'arrivée était susceptible de subir des *variations*. En pareil cas, en effet, la valeur donnée au signal par le moment de son apparition cesserait d'être certaine, ce *moment* pouvant varier indépendamment de la volonté du transmetteur.

Malheureusement, de telles variations sont à redouter dans la pratique, et je puis bien dire en passant qu'elles

constituent la cause la plus sérieuse des difficultés que rencontre le service de la télégraphie électrique. C'est donc à les éviter quand cela est possible, ou à réduire autant que faire se peut leur action perturbatrice quand il est impossible de s'y soustraire, qu'il faut viser quand on veut réaliser une *transmission rapide*, c'est-à-dire obtenir un *rendement élevé*, au moyen des systèmes différenciant leurs signaux par le moment de leur apparition. Cette différenciation n'est, en effet, plus possible dès que la vitesse de transmission est telle que les *variations actuelles dans le moment* où doit se manifester normalement un signal atteignent *une valeur égale ou supérieure à la moitié de la durée de l'émission de courant la plus courte.*

La cause la plus connue des variations en question provient des *états électriques différents*, dans lesquels peut se trouver le conducteur au moment de l'émission des courants. Le plus souvent, ces changements d'état proviennent d'une émission antérieurement faite, à la suite de laquelle le fil se trouve encore sous l'influence de la charge électrique qui en est résultée. Le *moment* du fonctionnement de l'appareil récepteur peut être ainsi avancé ou retardé, suivant que le courant qui doit le provoquer, au lieu de trouver le conducteur à l'état neutre, le trouve influencé par une charge électrique susceptible de favoriser ou de gêner son action. Cette perturbation peut être évitée, car elle résulte des opérations de la transmission elle-même et peut, par conséquent, être prévue. Il suffit de prendre les précautions nécessaires pour que *la transmission de chacun des éléments de signaux laisse le conducteur dans un état électrique identique*, ce qui est obtenu par les procédés divers utilisés pour hâter la décharge

du fil : mise en communication de celui-ci avec la terre, envoi d'un courant très court de sens contraire au précédent, etc., ou encore par des modifications introduites automatiquement dans l'énergie de la source électrique utilisée pour la transmission des signaux. Ce dernier moyen constitue un remède préventif, et les courants modifiés automatiquement dont il fait usage sont désignés sous le nom de *courants compensés.*

Mais il existe d'autres causes perturbatrices de l'état électrique normal des lignes télégraphiques et celles-là sont plus graves, car elles sont indépendantes de la transmission et, ne pouvant être prévues, ne peuvent être empêchées. Il faut donc les subir bon gré, mal gré, et se borner à atténuer, dans la mesure du possible, les conséquences de leur action. Je veux parler de l'*influence des mouvements électriques qui se produisent dans le voisinage du circuit utilisé.*

On a rarement l'occasion de voir une ligne télégraphique constituée par un seul fil; mais, en revanche, on voit fréquemment reposer sur les mêmes poteaux jusqu'à 40 fils et plus. D'autre part, dans le voisinage, et surtout dans l'intérieur des postes télégraphiques, de quelque importance, c'est par centaines que sont empilés les uns sur les autres, à peine espacés de quelques millimètres, des conducteurs faisant partie des circuits de ligne. Dans ces conditions, on peut s'attendre, lorsqu'une source électrique est introduite dans l'un quelconque de ces circuits, à la production instantanée dans les autres d'un flux électrique dû soit à l'induction, soit à des dérivations. La *fig.* 10 montre le genre de perturbations qui en résulte, et ce que devient la courbe régulière de la *fig.* 9. Les perturbations sont même souvent plus considérables que ne

l'indique la figure, et il n'est pas rare d'observer sur un fil du réseau en assez bon état, propre encore au service des transmissions, des courants parasites *inversant complètement le sens du courant* de signal envoyé par l'un des postes correspondants.

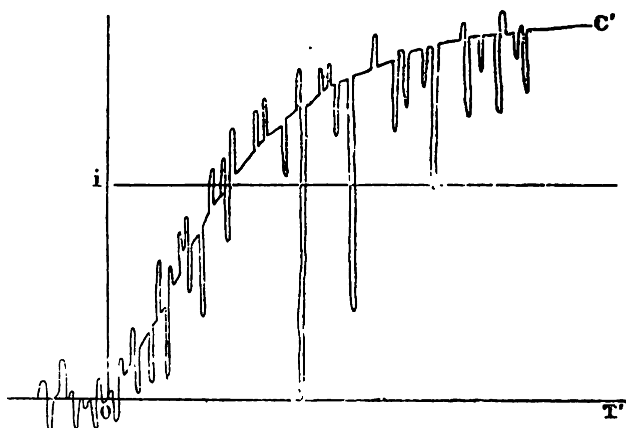


Fig. 10.

Dans ces conditions, on conçoit que cette cause de perturbation de l'état électrique des conducteurs, impossible à éviter dans les réseaux télégraphiques actuels, soit de nature à rendre bien difficile l'emploi d'une méthode basée sur la différenciation des signaux par le *moment* où ils se produisent. Elle peut toutefois être atténuée dans une certaine mesure, en s'inspirant des considérations suivantes. En examinant la *fig.* 9, on voit que, étant donnée la forme de la courbe OC, une perturbation dans l'intensité du courant doit avoir pour effet de faire varier le *moment* du fonctionnement de l'appareil, dans des proportions d'autant plus grandes que celui-ci est moins sensible, c'est-à-dire exige, pour fonctionner, un courant d'une intensité plus grande.

C'est ainsi qu'une variation accidentelle égale à $Oi^2 - Oi^1$, ou $Oi^4 - Oi^3$ provoquera une variation dans le moment du fonctionnement de l'appareil récepteur, égale à $Ot^2 - Ot^1$, si celui-ci peut obéir à une intensité minimum Oi^1, ou à une variation plus grande égale à $Ot^4 - Ot^3$, s'il ne peut obéir qu'à une intensité minimum Oi^3.

De cette première observation, il résulte qu'on a intérêt à faire usage d'un *appareil récepteur sensible*, c'est-à-dire susceptible de fonctionner sous l'action d'un courant de faible intensité. Mais il se trouve que la plupart des moyens employés pour donner cette qualité à un électro-aimant : augmentation du nombre des tours de fil de ses bobines, augmentation de la masse de fer soumise à l'action électro-magnétique, raccourcissement des lignes de force magnétiques, accroissement de la valeur du champ magnétique dans le cas d'électro-aimants polarisés, etc., ont précisément pour effet d'augmenter son coefficient de self-induction, et, comme conséquence, d'*allonger la période variable* du courant qui l'actionne, laquelle serait, en pareil cas, figurée par une courbe plus aplatie que celle de la *fig.* 9. En sorte qu'un électro-aimant dont la sensibilité serait accrue par un des moyens qui viennent d'être cités, ne contribuerait en rien à *préciser* le *moment* du fonctionnement de son armature.

Il est bien un moyen plus simple d'augmenter la sensibilité d'un électro-aimant sans augmenter en même temps son coefficient de self-induction. Il consiste à affaiblir le plus possible le ressort destiné à soulever son armature, et cela s'explique puisque ce ressort constitue une force antagoniste de celle du courant. Mais, en même temps qu'on favorise l'action

de celui-ci, on favorise celle des courants parasites qui, entre les courants normaux, pourraient parfaitement effectuer des signaux supplémentaires susceptibles de gêner la correspondance.

En somme, il serait désirable que *le courant de signal ne trouvât aucune force antagoniste à vaincre* pour abaisser l'armature, et que celle-ci fût *vivement relevée et solidement maintenue dans sa position de repos*, dès que le courant de signal a cessé de circuler et pendant tout le temps de cette cessation.

Ce résultat peut être obtenu assez facilement en supprimant tout à fait le ressort de l'armature et en mettant la commande du soulèvement de celle-ci dans les mains du transmetteur, comme le fait voir la *fig.* 3. Au repos du levier L, un courant est constamment envoyé sur la ligne, et ce courant est de sens inverse à celui qui sert à transmettre les signaux. De cette disposition il résulte que le fil de ligne est constamment parcouru par des courants, *positifs* quand le levier est dans sa position abaissée ou de *travail*, et *négatifs* quand ce même levier est dans sa position soulevée ou de *repos*.

A l'autre extrémité du conducteur, ces courants sont reçus dans un appareil dont l'organe mobile peut prendre, sous leur influence, l'une ou l'autre de deux positions distinctes et reproduire ainsi fidèlement les mouvements du levier transmetteur L. Tel serait, par exemple, un électro-aimant possédant une armature polarisée par le voisinage d'un aimant permanent.

La *fig.* 3 fait voir un appareil de ce genre avec lequel nous pouvons dès à présent faire connaissance, car nous aurons à l'utiliser plus tard. Il est constitué en principe par deux électro-aimants droits EE, au-

dessus desquels se présente une armature de fer AA, pivotant en son milieu sur une sorte de couteau analogue à celui des balances, et portant un index vertical dont les déplacements à droite et à gauche sont limités par des butoirs. L'armature AA est polarisée par le voisinage de l'aimant NS, et ses deux extrémités constituent en quelque sorte l'épanouissement du pôle Nord de celui-ci. Il en résulte une attraction magnétique de chacune de ces extrémités sur le noyau en fer de la bobine qui lui fait face, et, *pour une position déterminée de l'armature*, un état d'équilibre instable dont le moindre effort doit suffire pour l'en faire sortir. Dans ces conditions, on conçoit qu'il soit possible d'amener cette armature très près de sa position d'équilibre, au moyen des butoirs réglables de son index vertical, et, en limitant son jeu dans un espace restreint à droite et à gauche, de constituer un organe mobile extrêmement sensible à la moindre attraction ou répulsion magnétique venant des bobines. Or, un courant électrique d'un sens déterminé développe, en traversant les fils de ces bobines, des polarités magnétiques inverses dans les extrémités supérieures de leurs noyaux en fer, lesquelles polarités sont inversées toutes deux quand le sens du courant est changé. Elles sont d'ailleurs telles que, sous l'influence d'un courant *négatif*, l'armature est repoussée par la bobine de droite en même temps qu'elle est attirée par la bobine de gauche, et, par suite, amène son index vertical au contact de son butoir de *gauche*. L'effet produit par un courant *positif* est inverse et il amène l'index vertical au contact de son butoir de *droite*.

Comme on peut s'en rendre compte, le dispositif représenté dans la *fig.* 3 *réduit au minimum l'effort*

demandé aux courants de signaux, ce qui permet à ceux-ci d'apparaître très vite, dans la période initiale de la manifestation du flux électrique à la station d'arrivée; et, d'autre part, l'armature étant solidement maintenue dans sa position de repos pendant les intervalles séparant les signaux devient *insensible à l'action des courants parasites.*

Les avantages de ce dispositif, comportant l'emploi d'un *courant de repos* sont considérables, étant donnée la gravité des perturbations résultant d'un manque de sécurité dans le *moment* du fonctionnement de l'appareil récepteur; mais son efficacité est obtenue au prix de l'emploi exclusif de l'un des deux sens du courant, ce qui empêche d'en faire usage pour la transmission des signaux des Codes II, IV et VI, qui sont précisément basés sur l'emploi concomitant d'émissions de courant positives et négatives.

Considérations relatives à l'emploi des Codes I, III, V et II, IV, VI. — Est-ce à dire que ces Codes ne puissent, en aucun cas, être utilisés dans des systèmes télégraphiques empruntant les fils du réseau? Je ne le pense pas, car les difficultés que peut entraîner leur emploi dépendent de deux éléments qu'il est possible de faire varier : la nature du conducteur et la rapidité de la transmission. Étant donné un conducteur : en fer, en cuivre, de gros ou de petit diamètre, et possédant une capacité plus ou moins grande (lignes aériennes, souterraines ou sous-marines, ou mixtes), il existe toujours une rapidité de transmission pour laquelle les signaux d'un Code quelconque doivent pouvoir arriver correctement.

D'autre part, il y a lieu de tenir compte du fait que,

à rendement égal, la précision dans le moment du fonctionnement de l'appareil récepteur est moins nécessaire avec les signaux des Codes faisant usage des deux sens du courant, qu'avec les Codes similaires n'en utilisant qu'un seul.

Par exemple, à vitesses égales des aiguilles dans les dispositifs représentés *fig.* 4 et 5, une erreur dans le moment de l'apparition du signal pourra être, sans plus d'inconvénients, deux fois plus grande dans le cas de la *fig.* 5 que dans celui de la *fig.* 4. Cette marge plus large, laissée au signal pour se manifester, est-elle suffisante pour dispenser de faire usage des moyens de réduire les erreurs possibles dans le *moment* de son apparition ? A cette question, on pourrait répondre qu'il y a certainement une vitesse de transmission pour laquelle la sécurité est la même avec les deux dispositifs.

Mais, si le but cherché est la création d'un système télégraphique à transmission rapide, je crois pouvoir affirmer que les Codes de signaux n^{os} I, III et V et leurs dérivés sont les seuls qui puissent être employés avec sécurité sur les fils du réseau télégraphique, parce qu'ils se prêtent à l'utilisation d'un dispositif permettant à leurs signaux de parvenir correctement à l'extrémité des conducteurs de toute nature.

Les signaux du Code I, transmis avec accompagnement d'un *courant de repos*, ont donné d'excellents résultats à M. Ferranti de Rome (Hughes Duplex). Nous verrons bientôt ce qui peut être obtenu des signaux du Code III transformé, par l'emploi d'un *courant de repos*, en Code VII. Les signaux du Code n° V, transmis et reçus dans les conditions de la *fig.* 3, ont permis à Wheatstone de réaliser l'un des plus beaux

appareils à transmission rapide que possède la Télégraphie. Cet appareil est actuellement d'un usage général en Angleterre, et sert également, à titre exceptionnel, dans plusieurs autres pays.

Principaux systèmes télégraphiques à grand rendement : Wheatstone, Meyer, Delany, etc. — Maintenant que doit-on entendre par *appareils à transmission rapide*, ou, plus correctement, *à grand rendement ?*

On désigne ainsi les systèmes télégraphiques dont les éléments sont transmis et reçus avec une rapidité telle qu'il serait impossible à un seul opérateur d'en effectuer la préparation à la station de départ, ou la traduction et la transcription à la station d'arrivée.

A ce propos, je vais indiquer quelques-uns des moyens employés pour permettre à plusieurs agents de travailler *simultanément* à ces diverses opérations.

L'un de ces moyens consiste à préparer la transmission des courants électriques destinés à produire les signaux du code adopté, sur un organe mécanique qui, ensuite, effectue automatiquement cette transmission. Dans ce but, on fait le plus souvent usage d'une bande de papier un peu fort dans lequel on pratique, avec des emporte-pièces appropriés, des ouvertures diversement combinées. Cette bande de papier, dont les tronçons ont pu être préparés simultanément par plusieurs opérateurs, est alors introduite dans un transmetteur automatique fonctionnant aussi rapidement qu'on le désire, qui effectue sur la ligne les émissions de courant correspondant aux signaux emmagasinés sous forme de découpures. A l'arrivée, ces signaux peuvent être enregistrés, au fur et à mesure de leur apparition, sur une bande de papier qu'on coupe ensuite en tronçons pour les distribuer à un cer-

tain nombre d'opérateurs chargés d'en opérer la traduction et de transcrire les lettres résultant de cette opération.

Les systèmes de ce genre sont dits : *à composition préalable*. L'appareil Wheatstone (*) appartient à cette catégorie. Il a été fait des transmetteurs automatiques de même sorte que pour les signaux des Codes n° I par divers inventeurs, pour les signaux du Code n° II par Olsen, et enfin pour les signaux du Code n° VI par MM. Brahic (**), Terrin (***) et d'autres.

Un autre moyen permettant à plusieurs opérateurs de travailler simultanément sur un fil de ligne consiste à confier successivement ce fil à chacun d'eux, pendant un temps déterminé suffisant pour que puisse être effectuée la transmission des courants électriques que comporte l'envoi d'une lettre. Cette répartition nécessite l'emploi de distributeurs analogues à ceux des *fig.* 7 et 8, dont les frotteurs F, F' tournent en synchronisme.

Supposons que les couronnes divisées de ces distributeurs forment quatre secteurs principaux subdivisés en autant de lamelles isolées que le code de signaux adopté possède d'éléments, et que chacun de ces secteurs soit relié électriquement à un *manipulateur* au départ et à un *récepteur* à l'arrivée, les couronnes pleines des deux distributeurs étant respectivement reliées aux deux extrémités du fil de ligne.

C'est ainsi qu'a été réalisé l'appareil multiple de Meyer (****), qui faisait usage des signaux du Code n° V.

(*) *Annales télégraphiques*, t. III, 1876, pp. 354 et 397.
(**) *Annales télégraphiques*, t. XV, 1888, p. 193.
(***) *Annales télégraphiques*, t. XIX, 1892, p. 132.
(****) *Annales télégraphiques*, t. I, 1874, pp. 30 et 203.

Les subdivisions de ces quatre secteurs étaient au nombre de 8; elles aboutissaient respectivement à 8 touches d'un clavier (manipulateur) groupées comme celles d'un piano, qui servaient à figurer les éléments du code Morse (n° V). Les touches blanches correspondaient aux signes longs (traits), et les touches noires aux signes brefs (points). Ainsi la lettre R, par exemple (▬ ▬▬▬▬ ▬), était préparée par l'abaissement de la première noire (point), la deuxième touche blanche (trait), et la troisième touche noire (point).

Au poste d'arrivée, les quatre secteurs d'un distributeur semblable à celui du départ étaient reliés à autant d'électro-aimants dont les armatures accusaient, par leurs mouvements, les signaux successivement reçus, et, en même temps, déterminaient leur inscription sur des bandes de papier. Devant chacun des quatre organes inscripteurs, se tenait un opérateur chargé d'opérer la traduction des signaux inscrits et de transcrire les lettres résultant de cette opération.

De cette façon, les quatre opérateurs préposés à la formation des signaux au départ travaillaient indépendamment les uns des autres, et leurs signaux étaient respectivement reçus par les quatre correspondants du poste de réception.

En outre des quatre secteurs découpés dans l'une des couronnes des deux distributeurs en communication, il y avait d'autres divisions supplémentaires affectées, soit au maintien de l'accord entre les deux postes, soit à la décharge hâtive du conducteur, par une communication établie momentanément avec la terre après chaque émission, etc. Il en résultait un temps perdu assez considérable qui portait le temps consacré à la transmission du *mot moyen* (voir p. 26),

à plus de 90 fois la durée de l'émission la plus brève; soit près de deux fois le temps exigé pour la transmission du même mot avec les signaux du même Code, mais sans l'intervention de distributeurs.

Les systèmes télégraphiques de ce genre sont dits à *transmissions multiples.* M. Rouvier et après lui beaucoup d'autres ont tenté d'appliquer ce procédé de division du temps aux signaux du Code I, dans le but de faire un *Hughes multiple;* mais aucun d'eux n'a réussi à réaliser un appareil susceptible de donner satisfaction aux besoins de l'exploitation télégraphique. Quant au *morse multiple* de Meyer, il a cessé d'être utilisé par l'Administration française des télégraphes depuis une douzaine d'années.

Une solution originale du problème de la multiplicité des transmissions par un fil unique a été apportée par Delany (*). Elle est basée sur le fait qu'un électro-aimant peut obéir à un courant intermittent comme si celui-ci était continu, à la condition que les intermittences soient fréquentes et que l'électro-aimant soit disposé pour favoriser la continuation de l'effet des courants. Ce système fait usage de deux distributeurs analogues à ceux des *fig.* 7 et 8 dont les couronnes sont divisées en un grand nombre de secteurs, et dont les frotteurs FF′ tournent en synchronisme.

Soient, par exemple, quatre opérateurs à mettre en relation respectivement avec quatre correspondants installés à l'autre extrémité d'une ligne télégraphique. Chacune des deux extrémités de cette ligne aboutit à la couronne pleine d'un distributeur dont la seconde

(*) *Annales télégraphiques*, t. XIII, 1886, p. 449.

couronne est divisée en un grand nombre de secteurs, disons 60. Chacun des quatre opérateurs préposés à la transmission dispose d'un levier transmetteur approprié à la formation des signaux du Code qu'il utilise (*fig.* 1, 2 ou 3), et ce levier est relié à la fois à 15 secteurs du distributeur régulièrement espacés sur la couronne. Ainsi le levier transmetteur du premier opérateur sera relié aux 1er, 5e, 9e, 13e, 17e, 21e, ..., 57e secteurs; le levier du deuxième opérateur sera relié aux 2e, 6e, 10e, 14e, 18e, 22e, ..., 58e secteurs, etc. A l'arrivée, les 60 secteurs du distributeur forment également quatre groupes composés des secteurs symétriques des groupes correspondants servant à la transmission, et chacun de ces groupes est relié à un électro-aimant approprié pour la réception des courants envoyés par les leviers transmetteurs.

Tout ce qui précède étant compris, on conçoit que l'électro-aimant récepteur relié au premier groupe ne puisse recevoir que les courants envoyés par l'intermédiaire des secteurs reliés au premier levier transmetteur et formant le premier groupe au départ. Et de même pour les trois autres groupes. Dans ces conditions, si la vitesse de rotation des frotteurs des distributeurs est assez grande, ou la vitesse de transmission assez faible, pour que l'élément de signal le plus bref prenne un temps équivalent au moins au cinquième ou au sixième de celui qu'exige une révolution des frotteurs, le récepteur n° 1 recevra, sous la forme de courants discontinus, tous les signaux qu'il plaira à l'opérateur n° 1 du poste de départ de lui envoyer. Il est évident qu'alors l'énergie électrique agissant sur l'appareil récepteur se trouve réduite dans la proportion du temps total consacré à la transmission d'un élé-

ment de signal, à la durée effective du flux électrique, c'est-à-dire de 4 à 1 ; mais il est toujours possible de compenser cet affaiblissement par l'emploi d'une source électrique plus puissante. D'ailleurs, ce système ne paraît devoir donner des résultats satisfaisants que sur des fils de ligne de faible résistance ayant une capacité négligeable.

Il est employé sur quelques lignes du réseau anglais.

(*A suivre.*) E. Baudot.

CAPACITÉ DE L'ÉLECTROMÈTRE CAPILLAIRE

1. Je rappellerai que M. Lippmann (*) considère la polarisation du mercure au contact de l'eau acidulée comme un phénomène réversible caractérisé par les valeurs de deux variables indépendantes, la surface de contact S et la différence de potentiel e. Soit dQ la quantité d'électricité à fournir à la surface pour produire les variations élémentaires dS et de. Posant

$$dQ = X\,dS + Y\,S\,de, \tag{1}$$

et désignant par A la tension superficielle à la surface de contact, M. Lippmann démontre que l'on a :

$$X = -\frac{dA}{de}, \tag{2}$$

$$Y = -\frac{d^2A}{de^2}. \tag{3}$$

Y est *la capacité électrique de polarisation par unité de surface à surface constante;* X est une quantité jouant un rôle analogue et qu'on peut nommer *la densité électrique par unité de surface créée à potentiel constant.*

2. J'ai eu fréquemment l'occasion d'employer l'électromètre capillaire au zéro comme une capacité pour

(*) Lippmann, thèse de doctorat, 1875; *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. V, p. 494.

la comparaison de petites quantités d'électricité. Je supposerai aujourd'hui, d'une manière plus générale, que les deux mercures de l'électromètre ayant été portés à une différence de potentiel e, on ramène le mercure, par la pression, au zéro du micromètre; qu'on sépare l'électromètre de la pile de charge et qu'on lui fournit une quantité d'électricité dQ sans faire varier la pression. Quelle sera la variation de la différence de potentiel, ou, en d'autres termes, quelle sera, dans ces conditions, la capacité C de l'appareil ?

La variation de la différence électrique, sur le grand mercure, étant négligeable, la totalité de la différence de potentiel de se porte sur le petit mercure. Soient S la portion de surface du petit mercure, qui doit être considérée comme mouillée par l'eau acidulée, dS sa variation résultant du retrait dy de la colonne mercurielle. La capacité C de l'électromètre est, par définition, $\frac{dQ}{de}$, ou, d'après les formules (1), (2), (3),

$$C = \frac{dQ}{de} = -\frac{dA}{de}\frac{dS}{de} - S\frac{d^2A}{de^2}. \tag{4}$$

Je supposerai, pour fixer les idées, que l'on rend le petit mercure négatif. La variation de surface du ménisque étant négligeable, la variation de surface dS se réduit à la suppression de la surface latérale d'un cylindre ou plutôt d'un tronc de cône de rayon moyen r et de longueur dy,

$$-dS = 2\pi r\, dy.$$

On reconnaît sans peine que, pour une valeur donnée de e, dy est proportionnel à dA ; le coefficient de proportionnalité dépend de l'angle au sommet du tronc de

cône auquel peut être assimilé le tube dans la région voisine de zéro au micromètre. On a donc, en désignant par K une constante instrumentale,

$$dS = -K\,dA, \tag{5}$$

$$C = K\left(\frac{dA}{de}\right)^2 - S\frac{d^2A}{de^2}. \tag{6}$$

Telle est la valeur théorique de la capacité cherchée.

3. Pour juger de l'importance relative des deux termes dont se compose la capacité, j'ai fait construire, par M. Chabaud, des appareils de forme thermométrique dans les réservoirs desquels était soudé un fil de platine. Je substitue l'un de ces thermomètres au tube de l'électromètre capillaire et, puisque le petit mercure en contact avec l'eau acidulée se trouve ici immobilisé dans la tige du thermomètre, le second terme de la capacité subsiste seul.

Pour une valeur donnée de e, que je supposerai voisine de zéro, sa capacité est alors proportionnelle à l'étendue S de la surface mouillée que l'on peut, d'ailleurs, faire varier en déplaçant le ménisque par de petites variations de la température du réservoir du thermomètre. On constate que cette capacité est toujours petite par rapport à celle d'un électromètre dont le tube aurait la même section.

Ainsi, pour un thermomètre de $0^{mm},145$ de diamètre, la capacité a varié de $0^{mf},2$ à $0^{mf},8$ suivant la valeur de S. Mon électromètre, dont le tube a un diamètre de $0^{mm},0125$, c'est-à-dire environ douze fois plus faible que celui du thermomètre, a une capacité voisine de $0^{mf},6$.

4. Il suit de là que, pour des valeurs de e voisine de zéro, la capacité de l'électromètre se réduit presque

à son premier terme. Elle décroîtra donc rapidement quand on fera croître e. On en jugera par le tableau suivant. La première colonne donne e en daniells; la seconde, les valeurs relatives de $\left(\frac{\delta A}{\delta e}\right)^2$; la troisième, les valeurs relatives de la capacité C. On a pris pour unités les valeurs correspondant à $e = 0$

e	$\left(\frac{\delta A}{\delta e}\right)^2$	C	δ
$0^{da},00$	1	1	»
0 ,02	0,865	0,879	+ 0,014
0 ,04	0,705	0,782	+ 0,077
0 ,08	0,539	0,590	+ 0,051
0 ,12	0,430	0,503	+ 0,073
0 ,16	0,353	0,421	+ 0,068
0 ,2	0,266	0,309	+ 0,053
0 ,3	0,150	0,178	+ 0,028
0 ,4	0,090	0,129	+ 0,039
0 ,5	0,036	0,076	+ 0,040
0 ,6	0,024	0,061	+ 0,037

La différence δ des valeurs relatives de C et de $\left(\frac{\delta A}{\delta e}\right)^2$ est toujours positive. Elle correspond manifestement au terme en S de la formule (6). On voit que pour $0^{da},5$ les deux termes de la capacité deviennent sensiblement égaux et que, pour des valeurs supérieures de e, le terme en S devient prépondérant. Il doit subsister seul pour la valeur de e qui rend A maximum.

5. Voici maintenant les méthodes que j'ai employées pour la détermination expérimentale de C.

La plus pratique consiste à faire usage du quartz piézoélectrique de M. Curie. Cet appareil chargé de poids qui, dans mes expériences, ont varié de 200 à

3.000 grammes, fournit des quantités d'électricité δQ rigoureusement proportionnelles aux poids tenseurs; et comme la capacité du quartz est négligeable par rapport à celle de l'électromètre, la totalité de δQ s'écoule sur ce dernier, dont elle élève le potentiel de δe. Elle se trouve de l'ordre de grandeur convenable pour que le mercure ne sorte pas du champ du microscope.

La manière d'opérer est la suivante : les électrodes du quartz étant en dérivation sur l'électromètre, on porte le système au potentiel e à l'aide d'une pile de charge (*), et l'on ramène l'électromètre au zéro par l'emploi de la pression. Après avoir supprimé la pile de charge, on constate que la déperdition est pour ainsi dire nulle, tout au moins pour des valeurs de e inférieures à $0^{da},2$. C'est dans ces conditions qu'on leste le quartz, d'une manière assez brusque pour que l'électromètre atteigne sa nouvelle position d'équilibre en une seconde environ; on fait la lecture du micromètre, on déleste le quartz, on lit la position finale du mercure qui doit presque se confondre avec sa position initiale et l'on prend la moyenne δy des deux déplacements inverses du mercure. Enfin on cherche, à l'aide de la pile de charge, quel est l'accroissement δe du potentiel qui produit le même déplacement δy.

Ces observations suffiront à déterminer les valeurs relatives de la capacité de l'électromètre. En effet, si, dans deux expériences successives, on leste également le quartz, δQ demeure le même. Le rapport des capacités de l'électromètre dans les deux expériences (désigné par C dans le tableau ci-dessus) est donc le

(*) Dérivation convenable prise sur le circuit d'un élément Daniell.

rapport inverse des δe correspondants. Nous savons, d'autre part, que les δy sont proportionnels aux δA; les valeurs relatives de $\frac{\delta A}{\delta e}$ et de $\frac{\delta y}{\delta e}$ sont donc égales, ce qui a permis de calculer les nombres de la deuxième colonne du tableau.

6. On peut se passer du quartz piézoélectrique et fournir à l'électromètre des quantités connues d'électricité, à l'aide d'un condensateur que l'on charge à un potentiel $e + \Delta e$ et que l'on décharge sur l'électromètre au potentiel e. Soient C la capacité de l'électromètre, C_1 celle du condensateur, δe l'accroissement du potentiel mesuré, on a :

$$(C + C_1)\,\delta e = C_1\,\Delta e,$$

$$C = C_1\,\frac{\Delta e - \delta e}{\delta e}.$$

Cette méthode donne la valeur absolue de la capacité C, mais elle est plus incommode et moins sûre que la précédente, parce que, les manipulations étant plus longues et l'équilibre plus lent à s'établir, l'influence de la déperdition est plus considérable. Je n'ai employé cette méthode que pour quelques vérifications.

Enfin on peut combiner l'emploi du quartz piézoélectrique et du condensateur. On décharge le quartz piézoélectrique, d'abord sur l'électromètre seul, puis sur l'électromètre portant en dérivation le condensateur C_1. On a :

$$\delta Q = C\,\delta e = (C + C_1)\,\delta' e,$$

$$C = C_1\,\frac{\delta' e}{\delta e - \delta' e}.$$

C'est par cette méthode que je détermine, d'ordi-

naire, la capacité absolue de l'électromètre au voisinage de $e = 0$; elle est alors très précise. Mais les durées δt, $\delta' t$ nécessaires à l'établissement de l'équilibre, dans les deux phases de l'expérience, sont trop différentes pour qu'il n'en résulte pas une erreur systématique notable, si l'on applique cette méthode avec de grandes valeurs de e.

E. Bouty.

NOTE

SUR LE

RENDEMENT DE LA BOBINE D'INDUCTION TÉLÉPHONIQUE (*)

La mesure du rendement d'une bobine d'induction téléphonique pour les courants téléphoniques, n'a pas encore été réalisée à ma connaissance.

Cette mesure est d'une difficulté insurmontable, si l'on veut s'en tenir aux méthodes usuelles, en raison de l'extrême faiblesse de l'onde téléphonique, de sa complexité et des nombres élevés de vibrations par seconde qu'elle présente.

Si l'on chante, par exemple, sur la note sol_0 (99 vibrations par seconde) la voyelle *i* caractérisée, d'après M. Helmholtz, par le $ré_5$ (2.376 vibrations) les ondulations du courant correspondant à ce son partiel, qui viendront se greffer sur la sinusoïde du son fondamental, seront au nombre de 2.376 par seconde.

Quoique présentant donc une grande difficulté, le problème est néanmoins susceptible d'une solution simple et entièrement *téléphonique*, au moyen de la méthode que je vais exposer.

Soit P l'énergie fournie au circuit primaire de la bo-

(*) *Bulletin de l'Association des ingénieurs électriciens sortis de l'Institut électro-technique Montefiore,* 1894, p. 165.

bine d'induction A_1, P_1, l'énergie qui se retrouve aux bornes de son circuit secondaire.

On a :

$$P_1 = K_1 P,$$

K_1 représentant la valeur du rendement industriel de l'appareil pour la charge P.

Si nous connectons le circuit secondaire de A_1 au circuit secondaire d'une bobine d'induction semblable A_2, l'énergie P_1 va subir une nouvelle transformation, de manière que :

$$P_2 = K_2 P_1 = K_1 K_2 P,$$

P_2 étant l'énergie disponible dans le primaire de A_2.

Connectons maintenant le primaire de A_2 avec le primaire d'une troisième bobine A_3, l'énergie disponible dans le secondaire de cette bobine sera :

$$P_3 = K_3 P_2 = K_1 K_2 K_3 P.$$

Avec *n* bobine, nous aurons :

$$P_n = K_1 K_2 \ldots\ldots K_n P.$$

En rattachant alors le circuit libre de la bobine A_n à un téléphone, celui-ci va transformer l'énergie électrique qu'il reçoit en énergie mécanique sous forme d'ondes sonores. Nous pourrons admettre que les ondes sonores produites par un téléphone à simple pôle sont sensiblement sphériques, en sorte que l'énergie sonore rendue par le téléphone sera proportionnelle au carré de la distance à laquelle ne se percevront plus les sons qu'il rend, dans la direction de son axe.

Posons donc

$$(1) \qquad P_n = K_1 \ldots\ldots K_n P = K' l^2.$$

l est la distance du téléphone pour laquelle les sons qu'il rend s'éteignent.

Si maintenant l'énergie P est envoyée dans une autre série de m bobines d'inductions semblables, connectées comme il a été indiqué plus haut et dont le circuit libre de la dernière bobine est mis en relation avec le même téléphone, nous aurons encore :

$$P_m = K_1 K_2 \ldots\ldots K_m P = K' l'^2, \tag{2}$$

l' représentant la nouvelle distance pour laquelle les sons cessent d'être perceptibles.

En divisant (1) par (2), P la charge initiale disparaît et il vient :

$$\frac{1}{K_{n+1} \ldots\ldots K_m} = \frac{l^2}{l'^2}. \tag{3}$$

Il est à remarquer que le téléphone doit être connecté dans chaque expérience avec des circuits de même nom, soit deux primaires, soit deux secondaires, des deux séries de bobines. S'il n'en était pas ainsi, il absorberait en effet des quantités d'énergie différentes dans les deux cas et les résultats ne seraient pas comparables. $m - n$ doit donc être pair.

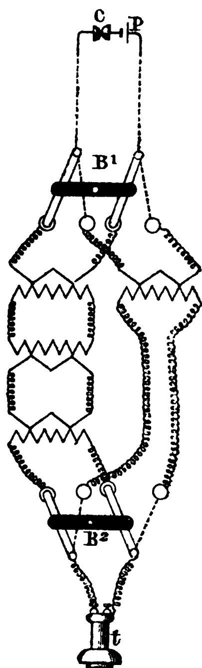
En particulier si $m - n = 2$, nous aurons, en supposant les deux rendements successifs K_{n+1} et K_{n+2} égaux entre eux et à λ :

$$\frac{1}{\lambda^2} = \frac{l^2}{l'^2},$$

$$\lambda = \frac{l'}{l}. \tag{4}$$

λ représente donc la moyenne géométrique de deux rendements successifs. On le déduit de la simple comparaison de deux distances.

Voici comment j'ai disposé l'installation pour effectuer les expériences. Un microphone C, figure ci-après, (les contacts seulement) est monté avec sa pile *p* dans une salle éloignée, de manière que les sons qu'on émet devant lui ne puissent être entendus directement des opérateurs. Son circuit aboutit à un commutateur à deux manettes B_1, permettant d'envoyer le courant soit dans le circuit primaire de la première bobine d'une série de bobines d'induction dont les circuits semblables sont connectés entre eux, soit dans le circuit primaire d'une seconde série de bobines disposées semblablement. Les axes de ces diverses bobines sont placés successivement à angle droit l'un avec l'autre, pour éviter l'influence magnétique des noyaux.



Les circuits terminaux des deux séries d'appareils de transformation se rattachent à un second commutateur à deux manettes B_2 qui permet d'envoyer le courant dans un téléphone à simple pôle.

Celui-ci a son axe dirigé suivant l'arête d'une longue table à dessiner, le long de laquelle on mesure les distances obtenues. Un des observateurs compte régulièrement des séries de chiffres devant le microphone.

Voici un tableau des essais effectués :

EN CIRCUIT SIX ET QUATRE BOBINES					
Numéros des expériences →	1	2	3	4	5
l'	52cm	49,5	33,4	45	53
l	110	104	79,8	94,5	138
Valeurs de K.	0,472	0,475	0,418	0,476	0,384

Moyenne générale, 0,445.

Dans une seconde série d'expériences avec cinq et trois bobines la moyenne s'est élevée à 0,446. Enfin dans une troisième série, où il ne restait plus que trois et une bobines et où les courants microphoniques étaient provoqués soit par le tic-tac d'une montre, soit par les sons d'une sonnerie vibratoire le résultat moyen a été 0,442.

Quoique la charge ait varié dans des limites assez étendues, le coefficient de transformation s'est donc maintenu dans des limites resserrées.

Je crois pouvoir conclure de ces expériences :

1° *Le rendement de la bobine d'induction téléphonique, pour les courants téléphoniques, ne varie pas notablement avec la charge ;*

2° *Ce rendement est faible et ne paraît pas devoir atteindre* 50 *p.* 100.

Comme le tableau donné plus haut le montre, la concordance obtenue dans une même série d'expériences est satisfaisante, même avec des observateurs différents (ici au nombre de deux). Quant à l'exactitude de la méthode, elle peut être assez grande. Avec un peu d'habitude on détermine nettement la position

où les bruits s'éteignent. On trouve sensiblement le même résultat en s'éloignant progressivement du téléphone ou se rapprochant. J'estime que dans la série d'expériences rapportée plus haut, l'erreur sur la distance ne devait pas atteindre 1 centimètre, ce qui dans la première expérience correspond à une erreur relative maxima possible de 2,5 p. 100 environ.

L'essai a été fait avec un microphone Grünenwald et des bobines d'induction du même appareil répondant aux spécifications suivantes :

Résistance du primaire composé de 300 tours en fil de $\frac{70}{100}$ millimètres de diamètre . . . . $0^{\omega},6$;

Résistance du secondaire composé de 4.100 tours en fil de $\frac{15}{100}$ millimètres . . . . 254^{ω}.

Ces deux circuits sont enroulés sur du papier recouvrant un noyau de $0^{cm},75$ de diamètre, composé de minces fils de fer doux de 7 centimètres de long. Deux joues en bois de 1 centimètre de largeur limitent l'espace où sont enroulés les circuits qui forment donc des bobines de 5 centimètres de longueur.

On peut évidemment simplifier l'application de la méthode, en supprimant la plus courte des deux séries d'appareils de transformation. Le commutateur B_1 est alors interposé entre le pénultième et l'antépénultième de ceux-ci.

La conclusion que le rendement téléphonique de la bobine d'induction téléphonique ne paraît pas varier sensiblement avec la charge semblera sans doute étrange, si l'on se rappelle que le rendement des

transformateurs industriels varie, lui, beaucoup suivant la puissance qu'ils débitent.

Mais il ne faut pas perdre de vue qu'en téléphonie les conditions sont très différentes de la pratique industrielle. Le circuit primaire de la bobine y fonctionne avec des courants extrêmement variables, faibles et ne s'inversant pas.

De fait, j'ai bouclé une à une, en série, et par leurs circuits de même nom, des bobines d'induction semblables dont le premier primaire était actionné par des courants téléphoniques et le dernier circuit connecté avec un téléphone et j'ai pu constater une extinction bien graduelle des sons. Leur extinction n'a été complète qu'à la vingtième bobine.

Incidemment je ferai remarquer qu'en admettant un coefficient constant de 0,44, cette expérience indique que l'énergie minima capable d'actionner le téléphone, est égale à la $(0,44)^{19} = 0,000\,000\,16$ partie environ de celle qui est engendrée dans le primaire du microphone.

Cette proportion fantastique explique la portée énorme que peuvent atteindre les transmissions téléphoniques.

Je rapporterai une dernière expérience, qui montre bien que le rendement téléphonique de la bobine d'induction n'est pas influencé par des facteurs qui altèrent dans une large mesure le rendement des transformateurs industriels.

En communiquant à grande distance et me plaçant dans des conditions extrêmes pour mieux saisir les différences (200 kilomètres de ligne en fil de fer et interposition de trois bureaux centraux) je pouvais fermer complètement le circuit magnétique de la bobine

d'induction employée (à l'aide d'un faisceau de fils de fer doux semblables à ceux composant le noyau) ou l'ouvrir, sans que mon correspondant pût saisir aucune différence dans la qualité des sons transmis.

Pour terminer, je tiens à remercier mon collègue Colard qui a bien voulu m'assister dans mes expériences. Si celles-ci n'étaient pas bien difficiles à réaliser, elles présentaient néanmoins quelque incommodité, en raison de l'heure avancée à laquelle elles devaient s'exécuter. Quoique opérant au troisième étage de l'Hôtel des Postes et Télégraphes, nous n'avons pu nous trouver dans des conditions suffisantes de calme ambiant qu'à partir de minuit et demi.

CHRONIQUE.

Sur le pouvoir inducteur spécifique du verre.

Note de M. F. Beaulard, présentée par M. Lippmann.

La détermination du pouvoir inducteur spécifique du verre présente des difficultés particulières, qui tiennent à la nature même du phénomène qui est complexe ; aussi la valeur numérique de ce coefficient est-elle mal déterminée : les nombres trouvés par les différents auteurs présentent des écarts parfois considérables et n'obéissent pas, en général, à la loi de Maxwell.

Je me suis proposé d'étudier principalement l'*influence du temps de charge*, et de chercher, par un artifice particulier, la valeur du pouvoir inducteur spécifique du verre, pour un temps de charge égal à zéro.

La méthode employée est la méthode balistique ; elle consiste à lancer successivement dans un galvanomètre le courant de charge du condensateur avec ou sans lame de verre. Il est nécessaire de tenir compte de l'amortissement toujours sensible et d'en corriger la déviation galvanométrique.

Le condensateur employé est formé de plateaux rectangulaires en bois recouverts d'étain et séparés par des cales d'ébonite ; pour éliminer l'influence des bords, j'ai utilisé une méthode particulière (*) indiquée par M. Blondlot et employée déjà par M. Pérot.

[Soient A la capacité en unités électrostatiques (C. G. S.)] du condensateur à air, B la capacité du même condensateur à lame de verre, et x la correction due à l'influence des bords, Si l'on désigne par E l'épaisseur des cales isolantes, par e

(*) *Comptes rendus*, t. CXV, p. 38, 1892.

l'épaisseur de la lame de verre (*), inférieure à la distance des plateaux, par ε la différence $E - e$, et enfin par S la surface collectrice des plateaux, on a

$$(1) \qquad x + \frac{S}{4\pi E} = A, \qquad x + \frac{S}{4\pi}\left(\frac{1}{\frac{e}{K} + \varepsilon}\right) = B,$$

ou K désigne le pouvoir inducteur spécifique.

En retranchant, pour éliminer x, il vient, après simplifications

$$(2) \qquad K = \frac{1 + (B - A)Ce}{1 - (B - A)C\varepsilon}$$

en posant, pour abréger,

$$(3) \qquad C = \frac{4\pi}{S}\frac{E}{e}.$$

On a opéré avec des temps de charge variables de un demi-centième à huit centièmes de seconde, obtenus par une disposition spéciale. Le condensateur était chargé au moyen de piles Daniel (98 volts) ou de piles Gouy (208 volts ou 69 volts).

Le plateau collecteur communique avec le pôle + de la pile dont le pôle — est au sol; le plateau condensateur est au sol par l'intermédiaire du fil du galvanomètre, lequel est, par suite, parcouru par le courant de charge du condensateur. On opère successivement, pour un temps de charge donné, avec ou sans lame de verre.

Les résultats sont représentés par une courbe; on porte les temps en abcisses Ox, et les déviations du balistique (proportionnelles aux charges) en ordonnées Oy.

La courbe relative au verre part de l'origine, s'élève rapidement, ensuite tourne en présentant sa concavité vers l'axe Ox, ensuite elle devient rectiligne; mais cette portion rectiligne de la courbe n'est pas parallèle à l'axe des temps, à cause de la conductibilité des cales isolantes d'ébonite.

Le prolongement de cette droite vient couper l'axe vertical

* Lame de Saint-Gobain légèrement opaque.

Oy en un certain point qui correspond à la déviation D *que l'on aurait en opérant pendant un temps de charge nul* (*).

On a, pour exprimer B, la relation

$$B \times U = g \frac{\tau}{2\pi} D \tag{4}$$

où U représente le potentiel de charge et $g \frac{\tau}{2\pi}$ la constante balistique; de même, pour le condensateur à air, on a

$$A \times U = g \frac{\tau}{2\pi} D'; \tag{5}$$

on calcule K par la formule (2).

Pour faire varier les temps de charge, on interpose entre le condensateur et la pile une machine d'Atwood (**), dont la règle verticale ordinaire est en ébonite et porte deux poulies dont on peut faire varier l'écartement. Un cordon de soie passe dans les gorges des deux poulies; il a été, sur une fraction de sa longueur, rendu conducteur. A cet effet il a été entouré d'un mince fil de cuivre. Le courant de la pile arrive à l'axe de l'une des poulies tandis que l'axe de la seconde communique avec le condensateur.

Pendant la chute, le courant passe lorsque la partie conductrice touche à la fois les deux poulies; on fait varier le temps de charge en augmentant la distance des axes de rotation. On a, au préalable, étalonné ces distances en fonction des durées de charge.

La moyenne d'un certain nombre d'expériences faites à des époques différentes et avec des potentiels de charges variables, a donné pour K la valeur de 3,9.

La courbe des charges en fonction des temps permet une vérification théorique importante.

(*) Si l'on fait une seconde série de mesures, on constate que cette partie rectiligne est moins oblique à l'axe Ox et se rapproche davantage de l'horizontale; mais son prolongement coupe l'axe Oy au même point que dans le cas précédent. Cela tient à une diminution de la conductibilité de l'ébonite.

(**) Disposition déjà employée par M. Pérot (*Journal de physique*, 2e série, t. X, avril 1891).

Soient E la force électromotrice de la pile, u le potentiel du collecteur au temps t, C la capacité du condensateur, R la résistence du circuit, et Q la charge au temps t, on a

$$(6) \qquad CR\frac{du}{dt}+u=E, \quad i=\frac{dQ}{dt}=C\frac{du}{dt},$$

d'où l'on déduit facilement la relation

$$(7) \qquad \frac{dQ}{dt}=\frac{1}{CR}(Q-CE).$$

$Q - CE$ se détermine sur la courbe (à un facteur près), ainsi que $\frac{dQ}{dt}$ qui est un coefficient angulaire de tangente à la courbe ; on vérifie, très exactement que le quotient

$$\frac{Q-CE}{\frac{dQ}{dt}}$$

est constant (*).

(*Comptes rendus*, 23 juillet 1894.)

L'électricité considérée comme un mouvement tourbillonnaire.

Note de M. Ch.-V. Zenger.

Si l'on fait passer la décharge d'une bobine de Ruhmkorff ou d'une machine Wimshurst dans une cloche pneumatique sous laquelle on a placé une éprouvette contenant de l'ammoniaque diluée, et une autre d'acide chlorhydrique concentré, on voit s'élever, au moment de la décharge, des tourbillons qui sont formés par de petits cristaux blancs de chlorhydrate d'ammoniaque suspendus dans l'air. Ils se condensent en tourbillonnant en filons cohérents, qui tombent sur la platine pneumatique. Ces cristaux se déposent, comme M. Faye l'a montré pour les débris des toitures et des arbres,

(*) Ce travail a été effectué au laboratoire de physique de la Faculté des sciences de Marseille.

pendant le cyclone de la vallée du Roux, en Suisse, c'est-à-dire qu'ils forment des lignes de force électrique.

Cette expérience montre que les décharges électriques, quelle que soit leur origine, produisent un mouvement tourbillonnaire dans la matière qui se trouve dans le champ électrique qui s'y condense.

Pour déterminer avec plus de rigueur la forme de ce mouvement tourbillonnaire, j'ai eu l'idée d'exécuter l'expérience suivante :

Je colle sur une plaque photographique de $0^{m},13 \times 0^{m},18$, deux petits triangles de papier d'étain, en regard l'un de l'autre ; je laisse sécher, et je couvre la plaque d'une légère couche brunâtre de noir de fumée.

Après la décharge, on trouve une trace blanche de 4 à 5 millimètres d'épaisseur, à bords dentelés, qui va en s'élargissant vers le milieu. Dans la partie médiane de cette trace, se trouve un filet constitué par du noir de fumée qui est resté intact. L'épaisseur de ce filet va en diminuant jusqu'au milieu de la trace, où il disparaît. On peut donc considérer ce filet comme l'analogue de l'espace tranquille que l'on appelle l'*œil* du cyclone atmosphérique. De plus, la partie blanche de la trace est sillonnée de courbes hélicoïdales très serrées, dextrorsum près d'un pôle, sinistrorsum près de l'autre.

Ces particularités me paraissent démontrer que l'électricité fait décrire aux molécules une trajectoire tout à fait différente de celle de la lumière. En effet, cette dernière peut être représentée en général par une vis de pas invariable, tracée sur une surface cylindrique à base circulaire ou elliptique, tandis que la trajectoire du mouvement électrique peut être considérée comme tracée sur une surface conique à pas variable, dont les spires vont en s'élargissant vers le milieu de la trace de la décharge.

Ces figures, que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie, représentent la projection du mouvement tourbillonnaire sur un plan parallèle à l'axe du mouvement; il m'a paru essentiel de produire des images électrographiques, qui pussent être considérées comme la projection du même mouvement sur un plan perpendiculaire à cet axe.

Je prends un miroir argenté, recouvert d'une couche de

vernis comme d'ordinaire. Je mets le déflagrateur positif en face de la couche de vernis, tout près d'elle, tandis que le déflagrateur négatif se trouve en regard de la surface du verre et à une distance de $0^m,10$ à $0^m,12$. Les choses étant ainsi disposées, le vernis est chassé par la décharge avec tant de force, que, parfois, il pénètre dans la peau de l'expérimentateur. Il se produit également une volatilisation complète de la couche mince d'argent, comme dans l'expérience bien connue de la décharge électrique traversant une feuille d'or placée entre deux verres. La vapeur d'argent est mise en mouvement tourbillonnaire et se condense sur la surface froide du verre. On obtient ainsi des images transparentes, parsemées de spires d'argent amorphe, jaune rougeâtres.

La même expérience, exécutée avec un miroir doré, donne également des spires d'or amorphe, de pourpre d'or.

Les électrographies ainsi obtenues, agrandies cinq fois par la photographie, montrent des spires à plusieurs branches et des noyaux centraux, qui sont évidemment les sections du filet central de l'expérience précédente. Si la décharge est assez forte, on voit une série de ces noyaux centraux, dont chacun est entouré de spires ; ce sont évidemment les effets produits par une série de charges consécutives.

Ces expériences sont des expériences de laboratoire. Mais voici un exemple d'une sorte d'image, laissée accidentellement dans l'espace, du mouvement produit par un éclair.

La foudre, en tombant, le 21 juillet 1889, sur la manufacture de soude, à Aussig, en Bohême, a atteint un miroir argenté, épais de 6 millimètres, qui se trouvait dans le salon du directeur. Elle l'a mis en pièces, l'a perforé en plusieurs points, en y pratiquant des trous coniques. En chaque point, elle a chassé le verre fondu et laissé la trace du mouvement tourbillonnaire, sous la forme de minces fils de verre fondu, adhérent, et recouvrant les parois de l'excavation conique.

(*Comptes rendus*, 20 août 1894.)

Sur la propagation des ondes électromagnétiques dans la glace et sur le pouvoir diélectrique de cette substance.

Par M. R. Blondlot.

Dans une note précédente (*), j'ai énoncé la proposition suivante : la longueur des ondes qu'un oscillateur électromagnétique est susceptible d'émettre reste la même, quel que soit le milieu isolant dans lequel l'expérience est faite ; autrement dit, la longueur d'onde dépend des dimensions de l'oscillateur seulement, comme en acoustique, la longueur des ondes émises par un tuyau dépend de la longueur du tuyau seulement.

Les expériences de vérification, décrites dans la note citée, ont porté sur l'essence de térébenthine et sur l'huile de ricin, la loi s'est montrée parfaitement exacte pour ces deux corps; et tout porte à croire qu'il en serait de même pour les autres diélectriques.

Un doute subsistait néanmoins pour l'un d'eux, la glace, à cause des propriétés exceptionnelles qui lui ont été attribuées. Les expériences de M. Bouty assignent, en effet, à la glace un pouvoir diélectrique égal à 78, c'est-à-dire incomparablement plus grand que celui de toutes les autres substances (**). Soupçonnant que la loi relative à la propagation des ondes pourrait ne pas s'appliquer à un diélectrique si différent des autres, j'entrepris de soumettre la question à l'expérience.

J'ai profité, pour faire ces recherches, des froids intenses et prolongés de l'hiver 1892-1893 ; M. M. Dufour m'a secondé dans leur exécution, que la rigueur de la température rendait difficile et même pénible; je le remercie pour son extrême obligeance en cette occasion.

La méthode que j'ai employée est la suivante, identique, à quelques modifications près, nécessitées par l'état solide du diélectrique, à celle que j'avais employée dans le cas de l'essence de térébenthine et de l'huile de ricin.

(*) *Comptes rendus*, séance du 25 juillet 1892 (*La Lumière électrique*, t. XLV, p. 295).
(**) *Comptes rendus*, séance du 7 mars 1892.

Des ondes électromagnétiques sont transmises le long de deux fils de cuivre étamé, de $2^{mm},5$ de diamètre, tendus horizontalement et parallèlement l'un à l'autre à la distance de $0^{mm},8$. Un résonateur de cuivre doré, le même qui m'avait servi dans le cas des liquides, est installé à poste fixe entre les fils; la portion des fils de transmission située au delà du résonateur est contenue dans une auge en bois, de 4 mètres de longueur. L'auge étant vide de liquide, on cherche où il faut placer un pont métallique mobile, joignant les fils au delà du résonateur, pour faire disparaître l'étincelle; la distance du pont au résonateur est alors le quart de la longueur d'onde propre au résonateur; on repère exactement la position du pont.

Cela fait, j'entoure la partie du résonateur, qui forme condensateur, d'un sac étanche en papier parchemin que je remplis d'eau distillée bouillie, puis je fais geler cette eau; la lame d'air du condensateur est ainsi remplacée par une lame de glace. En mesurant de nouveau la longueur d'onde, on la trouve beaucoup plus grande que dans la première expérience; elle est devenue environ les 141/100 de ce qu'elle était.

J'emplis alors l'auge avec de l'eau que je fais geler, puis je cherche de nouveau la position du pont pour laquelle l'étincelle disparaît au résonateur : à cet effet, l'on casse et l'on enlève progressivement la glace à partir de l'extrémité de l'auge la plus éloignée du résonateur, j'ai constaté que cette position est *rigoureusement* la même que dans la première expérience, alors que le diélectrique était partout de l'air.

L'expérience, répétée quatre fois, en faisant varier chaque fois la capacité du condensateur, a toujours donné le même résultat. La proposition relative à la longueur d'onde est donc vraie pour la glace comme pour les autres diélectriques. Par suite, comme je l'ai montré dans ma note précédemment citée, la relation de Maxwell, d'après laquelle le pouvoir diélectrique est égal au carré de l'indice de réfraction, est également vérifiée dans le cas de la glace pour les ondulations électromagnétiques.

Les résultats précédents, quelque peu imprévus, m'ont engagé à déterminer la constante diélectrique de la glace, en employant les ondulations électro-magnétiques. En fait, l'ex-

périence décrite plus haut me fournissait toutes les données nécessaires pour cette détermination.

Si, en effet, l'on désigne par λ et λ' les longueurs correspondant à un résonateur donné, fonctionnant respectivement dans l'air et dans une substance de pouvoir diélectrique k, on a :

$$\frac{\lambda'}{\lambda} = \sqrt{k}.$$

Comme je l'ai rapporté plus haut, jai trouvé :

$$\frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{141}{100},$$

d'où

$$k = 2, \text{ en nombre rond.}$$

L'expérience, répétée une douzaine de fois, a toujours donné le même résultat; j'estime que l'erreur relative ne dépasse pas 1/20, car la lame de glace était presque exempte de bulles d'air. D'après cela, la glace ne présenterait pas de propriétés diélectriques exceptionnelles.

Il reste à expliquer comment MM. Bouty et A. Perot ont trouvé, pour le pouvoir diélectrique de la glace, des valeurs d'un tout autre ordre. En premier lieu, dans la méthode de M. Bouty, la charge et la décharge du condensateur étaient énormément plus lentes que dans mes expériences. N'est-il pas dès lors vraisemblable que les grandeurs physiques mesurées par M. Bouty et par moi étaient en elles-mêmes fort différentes? En tous cas, on sait aujourd'hui trop peu de choses sur les propriétés diélectriques des corps, pour qu'il y ait lieu de s'étonner de la divergence des nombres obtenus par deux méthodes si dissemblables, si grande soit-elle.

En second lieu, les résultats donnés par M. Pérot (*), qui opérait à l'aide de la méthode que j'ai décrite plus haut, sont erronés, comme il l'a reconnu depuis par suite d'une omission importante dans le calcul des expériences (**); en corrigeant cette erreur, les expériences de M. Pérot donnent pour le pou-

(*) *Comptes rendus*, séance du 27 juin 1892.
(**) Voir d'autre part.

voir diélectrique de la glace, un nombre voisin de 2, comme les miennes propres.

(*Comptes rendus*, 8 octobre 1894.)

Sur le pouvoir diélectrique de la glace.

Par M. A. Pérot.

J'ai publié, dans la séance du 27 juin 1892, le résultat d'expériences faites pour déterminer, par les oscillations électriques, la constante diélectrique de la glace.

Dans le calcul de ces expériences, que j'avais conduit comme pour le verre, j'ai commis une erreur due à l'existence de la capacité extérieure qui, dans ces expériences, est altérée, le condensateur étant plongé en entier ou en partie dans le diélectrique. M. Blondot m'ayant signalé la discordance qui existe entre ses résultats et ceux que j'avais obtenus, j'ai repris les calculs et fait de nouvelles expériences dont je donne le résultat ci-dessous :

λ (Air)	λ (Glace)	$\sqrt{k}$
91	130	1,43
91	133	1,46
136	186	1,37
136	197	1,44
151	215	1,42
149	214	1,44

Moyenne : $\sqrt{k} = 1,43$ $k = 2,04$

(*Comptes rendus*, 8 octobre 1894).

L'Éditeur-Gérant : Vve Ch. Dunod et P. Vicq.

PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1895 **Mars-Avril**

DÉVELOPPEMENT DE L'OUTILLAGE
DU
SERVICE DES CABLES SOUS-MARINS

Le service des câbles sous-marins de l'administration française s'est développé, comme moyens d'action, à mesure que le réseau de nos côtes s'est étendu et que l'entretien de nos grands câbles méditerranéens lui a été confié; il a ainsi présenté trois phases au début de chacune desquelles l'outillage a reçu un développement très important.

Tout d'abord le service n'avait à poser et à entretenir que les câbles nombreux, mais de peu de longueur qui reliaient les îles du littoral au continent, puis il a dû effectuer de fréquentes réparations sur les câbles beaucoup plus importants de Livourne à Macinaggio et de Marsala à Bizerte, câbles sur le trajet desquels on rencontrait des profondeurs allant jus-

qu'à 500 mètres; enfin des opérations sur les câbles d'Antibes à Saint-Florent (Corse) et de Marseille à Alger, immergés par des fonds de 2.500 à 3.000 mètres, ont dû être entreprises.

Jusqu'en 1864, les divers types de câble nécessaires à l'entretien ou à l'installation de nouvelles communications étaient d'origine anglaise; mais, vers cette époque, l'administration jugea plus économique de doter le service d'une petite usine qui fut construite près du port de commerce de Toulon, sur des terrains dépendant des fortifications et séparant cette ville du faubourg du Mourillon.

Au début, dans cette usine pourvue d'une machine très incomplète à revêtir les âmes, on recouvrait de jute les âmes que l'on protégeait ensuite directement avec une armure de fils de fer de 7 millimètres, mais le câble de grand fond qui servait à l'entretien et aux réparations du câble de Marsala à Bizerte provenait de reliquats de poses ou de câbles relevés.

Après 1872, on fabriqua au Mourillon d'assez grandes quantités de câbles à double armure en utilisant à cet effet les câbles posés par les Anglais sur les côtes de l'Algérie et relevés pour la plupart après le rétablissement du réseau terrestre qui avait tant souffert pendant le soulèvement arabe; plus de 300 kilomètres ont été employés de cette manière.

En 1877, l'usine du Mourillon fabriqua 16 kilomètres de câble de grand fond qui, tout d'abord destinés à une réparation du câble de Livourne, reçurent un autre emploi; mais son objet principal fut toujours la fabrication de câble intermédiaire ou de câble à double armure pour l'entretien du réseau côtier. Cette usine, bien que pourvue de moyens très restreints, n'en

rendit pas moins de très grands services sous la haute direction de M. l'inspecteur général Ailhaud qui parvint à démontrer combien l'administration française aurait avantage à se soustraire le plus possible à la dépendance des fabricants anglais et à établir que, tout aussi bien que les Anglais, nous pouvions en France aborder les grands problèmes de la télégraphie sous-marine. Cette question ne touchait pas seulement notre amour-propre national; la guerre de 1870 et la révolte de l'Algérie ont montré combien une nation comme la France devait être outillée au point de vue de la fabrication des câbles sous-marins, de leur pose et de leur entretien. La diplomatie allemande a été bien près d'obtenir que l'embargo fût mis à Londres sur les câbles que le gouvernement de la défense nationale fit poser pour relier les tronçons du pays séparés ou isolés par l'invasion (*).

Jusqu'en 1873, le service n'avait eu à sa disposition qu'un seul navire l'*Ampère* (*Dix-Décembre*, avant 1870)

(*) En 1869 l'Algérie ne communiquait avec la France que par la Tunisie et l'Italie, reliées il est vrai par les soins de l'administration française par le câble de Bizerte à Marsala. Mais ce câble tant de fois réparé, immergé sans doute dans de mauvaises conditions de fonds, était fréquemment interrompu et pour de longues périodes. On souffrait, dans la grande colonie, de l'isolement qui en résultait, surtout à une époque où l'on sentait que de bien graves événements se préparaient, tout au moins à l'extérieur. Nous eûmes alors la pensée d'entreprendre, à l'aide d'une société à former, ce que l'État ne paraissait pas se soucier de tenter à nouveau : la pose d'un câble direct entre la France et l'Algérie; les bases d'une société furent jetées qui se proposait de créer une usine pour la fabrication des câbles sur le littoral de la Méditerranée, c'est-à-dire de réaliser vingt-cinq ans plus tôt la création de l'usine Grammont, à Saint-Tropez. A cette époque on avait devant soi l'avenir, les mers n'étaient pas encore accaparées par les compagnies anglaises et la lutte au point de vue commercial et industriel était possible; mais notre idée, soumise à l'administration, ne nous valut alors que des sourires d'encouragement et bientôt, pendant notre séjour à Paris pour y recruter des adhérents et tout au moins nous acquérir des

qui, par ses formes arrondies et son faible tirant d'eau, convenait parfaitement au travail des câbles littoraux; mais sa faible contenance comme cuves à câbles, avait été constatée pendant la guerre lors de l'établissement des câbles tels que celui immergé de Calais à Cherbourg. La nécessité de relever les câbles posés sur la côte algérienne pour les utiliser sur d'autres points, fit ressortir encore plus son insuffisance dans le cas d'opérations un peu importantes. En 1873, l'administration obtint du ministère de la marine la cession du transport-aviso la *Charente*, qui devait depuis rendre tant de services à la télégraphie sous-marine française. L'année 1874 fut employée à la transformation et l'agencement de ce navire par la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée, en vue de sa nouvelle affectation; il reçut trois cuves pouvant contenir environ 340 kilomètres de câbles de grand fond et une machinerie double sur le pont, à l'avant pour le relèvement des câbles, à l'arrière pour l'immersion, tandis que l'*Ampère* ne possédait que deux cuves pouvant contenir à peine 160 kilomètres de câble de grand fond et une machinerie très incomplète installée sur son arrière et servant à la fois aux deux opérations principales : relèvement et immersion.

C'est dans ces conditions d'outillage que le service des câbles dut fonctionner de longues années encore. Cependant, de 1871 à 1880, le réseau sous-marin de la

bonnes volontés, nous vîmes se refermer devant nous bien des portes qui s'étaient tout d'abord ouvertes avec un réel intérêt.

Toutefois, si elle n'eût pas de résultat au point de vue de la création d'une nouvelle industrie en France, notre initiative en eut tout au moins un très grand pour les intérêts algériens, car un mois après notre visite au directeur général, une concession était accordée à M. Erlanger pour la pose d'un câble entre Marseille et Bône qui, il est vrai, fut encore une fois fabriqué en Angleterre et posé par les Anglais.

Méditerranée avait reçu une grande extension. Trois câbles posés en 1871, 1879 et 1880 reliaient Marseille à Alger, un câble immergé, en 1878, rattachait directement la Corse à la France d'Antibes à Saint-Florent. L'administration avait dû s'adresser encore aux grandes maisons de Londres tant pour la fabrication que pour la pose de ces câbles, mais elle sentait qu'il fallait tout au moins pouvoir assurer elle-même leur entretien. Le câble de Marseille à Alger, posé en 1871, présentait de sérieux défauts et la Compagnie anglaise qui l'avait immergé exigeait un prix exorbitant pour entreprendre sa réparation, sans vouloir répondre du succès. Aussi le ministre des Postes et Télégraphes, M. A. Cochery, décida-t-il que l'usine, si pauvrement dotée du Mourillon, serait remplacée par une usine plus vaste, mieux outillée, permettant à l'État d'assurer non seulement l'approvisionnement de câble à double armure destiné à l'entretien des petits câbles côtiers, mais encore de fabriquer les longueurs de câble de grand fond nécessaires aux réparations des grands câbles transméditerranéens. En même temps, on s'occupait d'établir un projet de navire capable de recevoir une quantité de câble pouvant suffire à une pose comme celle d'un câble de France en Algérie.

Le projet intéressant la fabrication a été réalisé et la nouvelle usine a été inaugurée en 1883. La question de navire n'est pas encore aujourd'hui résolue quant à la contenance des cuves pour entreprendre une grande pose, mais un puissant outillage a été installé sur la *Charente* en vue des réparations dans les grands fonds.

Cet historique rapide nous a paru nécessaire pour montrer comment, en vue de répondre à des besoins

allant chaque année grandissant, l'administration avait, par des modifications ou des accroissements successifs, constitué des moyens déjà puissants, mais qui, en 1891, furent reconnus encore insuffisants lorsque la pose des câbles de Marseille à Oran et de Marseille à Tunis eût été décidée.

Le parlement ne voulant pas que l'on s'adressât cette fois aux fabricants anglais, l'administration eût dû augmenter à nouveau son outillage si elle n'avait pas trouvé l'industrie des câbles qui s'est créée en France depuis un petit nombre d'années assez développée pour qu'on pût lui confier la réalisation des deux grands projets intéressant l'est et l'ouest de nos possessions du nord de l'Afrique (*).

Bien qu'on eût eu recours à l'industrie, le directeur général, M. de Selves, voulut que, dans une circonstance analogue, l'administration ne fût pas prise au dépourvu, en cas de guerre par exemple (**), et qu'en possédant les moyens de suffire à tous les besoins, elle ne fût pas obligée de subir toutes les exigences de l'industrie. Pour ce motif il demanda aux Chambres et en obtint de disposer de l'excédant des crédits votés pour les deux câbles d'Oran et de Tunis sur le prix résultant des adjudications; il donna en outre à une commission spéciale la mission d'étudier le meilleur emploi à en faire en vue de compléter notre outillage (***).

(*) La Société des câbles télégraphiques sous-marins français possède à Calais une grande usine très bien outillée; M. Grammont, le grand industriel de Pont-de-Cherui (Isère), avec le concours de M. Pelletier, ingénieur des télégraphes, en a créé une non moins importante à Saint-Tropez.

(**) L'usine de la Seyne, établie dans la rade de Toulon, est à l'abri de toute attaque de l'ennemi.

(***) Cette commission, présidée par M. Amiot, inspecteur adjoint à

Cette commission se réunit successivement à la Seyne et à Brest et arrêta un programme de travaux qui reçut l'approbation supérieure. Dès le commencement de 1892, en notre qualité de chef du service des câbles, nous eûmes à en préparer la mise à exécution. Ce plan comportait le développement de l'usine de la Seyne, le renouvellement intégral de l'outillage spécial de la *Charente* et de l'*Ampère*, le remplacement de la machine motrice du premier de ces navires. Deux années ont été consacrées à ces travaux sans pour cela que la marche du service d'entretien du réseau fût interrompue.

USINE DE LA SEYNE.

Cette usine, ainsi que nous l'avons rappelé, est installée au fond de la baie qui prolonge dans le nord-ouest la petite rade de Toulon. Elle est pourvue d'une darse *d* (*fig.* 1) qui, par un chenal spécial creusé à 6 mètres de profondeur et large de 10 mètres au plafond, communique avec le chenal *c* du port de la Seyne. Elle occupe un terrain conquis sur la mer, au nord de l'agglomération principale de la ville, à 1.600 mètres environ de la gare du chemin de fer et donne presque directement sur la route qui conduit à Toulon, conditions essentiellement favorables à son approvisionnement. Malheureusement la petite rade dans la baie de la Seyne est sans profondeur, les vases y sont constamment remuées par les pêcheurs

l'inspection générale, avait pour membres MM. Wunschendorff, également inspecteur adjoint à l'inspection générale, et Morris, chef du service des câbles sous-marins et de l'usine de la Seyne, et pour secrétaire M. Thomas, inspecteur ingénieur.

de coquillages et de nombreux apports tendant à combler le chenal et la darse lorsque les vents d'est, si violents dans la région, se mettent à souffler et pro-

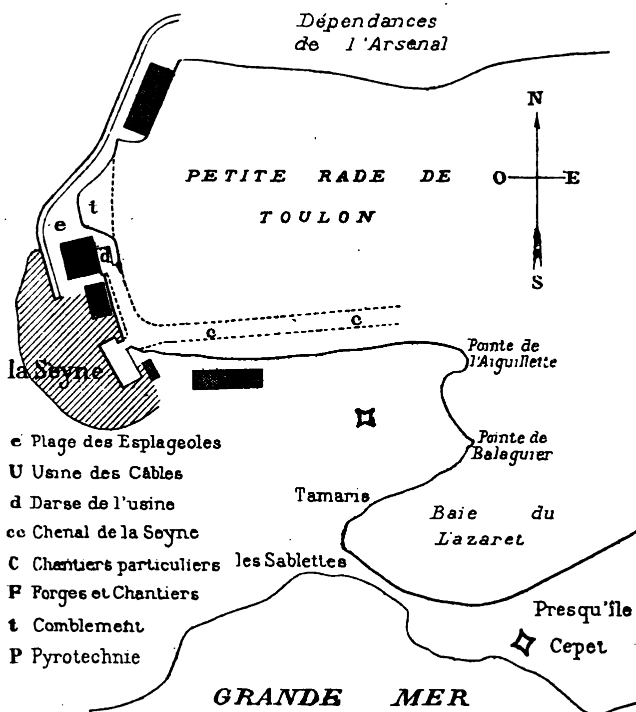


Fig. 1.

duisent de véritables petites marées de 0m,60, 0m,80 et même de 1 mètre.

A part cet inconvénient auquel des dragages faits tous les quatre ou cinq ans sans de trop grands frais permettent de remédier, l'emplacement de l'usine des câbles ne pouvait pas être mieux choisi en raison des facilités que le service trouve dans le voisinage de l'arsenal et de l'établissement des Forges et Chantiers

tant pour son approvisionnement en certaines matières que pour les réparations importantes de ses machines.

M. l'inspecteur général Amiot, alors chef du service des câbles sous-marins, dressa en 1880 les plans de

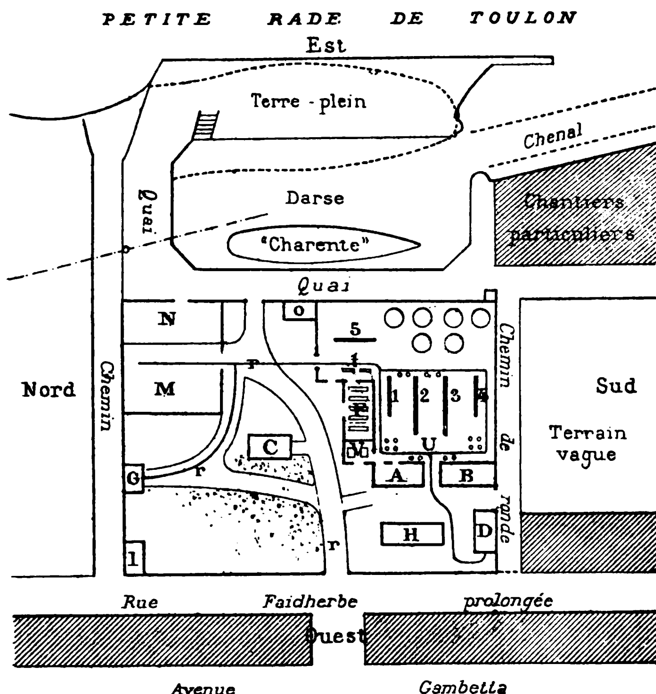


Fig. 2.

U	Usine.	D	Hangar avec bassins pour les bobines d'âme.
1, 2, 3, 4.	Machine à revêtir les âmes.		
o o	Cuves à âmes.	M	Magasin de l'usine.
o	Cuve à câble.	N	Magasin naval.
5	Machine à câbler les âmes.	G	Magasin à goudron.
t	Tours à jute.	C	Magasin à charbon.
V	Moteurs.	*o*	Vestiaire.
F	Chaufferie.	*l*	Lavoir.
A	Atelier et forge.	*r*	Routes empierrées.
B	Bureaux et salle d'expériences.	▬▬	Decauville.
H	Maison d'habitation.	- - - -	Ancien contour du terre-plein.

l'usine en vue de son extension ultérieure; elle ne comporta tout d'abord qu'un bâtiment principal U (*fig.* 2) de 60 mètres de long sur 48 mètres de large formé de quatre travées orientées de l'ouest à l'est, avec des annexes pour la chaufferie, la machine motrice, les bureaux, un atelier de réparation et un vaste emplacement couvert 5 de 30 mètres de long sur 22 mètres de large, servant de magasin, situé au nord-est dans le prolongement de la chaufferie.

Deux machines à revêtir les âmes furent installées dans les travées centrales 2 et 3; quatre cuves en maçonnerie pouvant contenir chacune 300 kilomètres de câble de grand fond, 170 kilomètres de câble intermédiaire ou 110 kilomètres de câble à double armure, furent construites à l'extrémité est de chaque travée, à proximité du navire à amarrer dans la darse; deux cuves plus basses, également en maçonnerie, furent aussi construites dans les travées et destinées à recevoir les bobines d'âme provenant des usines spéciales. Quatre cuves en tôle furent disposées en tête des deux machines à revêtement en vue de recevoir l'âme destinée à la fabrication. L'installation fut complétée par un tour devant servir à l'embobinage du fil de jute, deux autres pour les rubans, trois pour la mise du fil de fer sur bobine et une cuve dite *à composés* pour fabriquer le mélange silico-bitumineux servant à recouvrir l'armure extérieure du câble.

L'annexe V réservée au moteur reçut une machine de la force de 75 chevaux sur les pistons du système compound à pilon et à condenseur par surface donnant, à l'aide de deux lignes d'arbres, le mouvement aux machines à revêtement, tours, etc.

La chaufferie installée en F comportait, outre les

petites chaudières provenant du Mourillon, deux puissantes chaudières semi-tubulaires de 90 mètres carrés de surface de chauffe, construites, ainsi que le moteur, par la maison Mouraille de Toulon.

La chaufferie était séparée du magasin par un dépôt de charbon pouvant en contenir environ 50 tonnes.

Dans un but d'économie, la darse, qui fut creusée en 1883 et protégée contre la mer par un terre-plein à l'est, ne fut pourvue de quais que sur sa rive longeant l'usine. La cour de l'usine, entourée de murs sur ses quatre côtés, ne renfermait, en dehors des bâtiments, que des terrains vagues à travers lesquels un chemin encore insuffisamment résistant était tracé pour faire communiquer le quai avec l'extérieur de l'usine et amener les approvisionnements.

Telle était la situation quand, au mois de février 1888, nous prîmes la direction du service des câbles. Beaucoup à ce moment restait encore à faire à certains points de vue, car des nécessités budgétaires avaient fait ménager les ressources mises à la disposition de mon prédécesseur pour mettre à exécution son programme.

Des difficultés considérables s'étaient rencontrées pour assainir le sol de l'usine dans lequel on trouvait l'eau à 60 centimètres de profondeur et qui, par suite de l'insuffisance de pente du terrain ($0^m,60$ environ pour une longueur de 70 mètres) et de la faible différence de niveau entre le sol et le niveau ordinaire de l'eau de la mer, souvent réduite à rien par les vents d'est, ne pouvait s'assécher en hiver, pas plus à l'intérieur des bâtiments qu'à l'extérieur. Cette question, qui à première vue peut paraître secondaire, avait cependant une double importance : d'une part en effet, à dif-

férentes reprises la fabrication a été arrêtée; d'autre part, la santé du personnel ouvrier et des habitants de l'usine s'est plusieurs fois ressentie soit de l'humidité extrême à l'intérieur des bâtiments, soit de l'action des miasmes se dégageant des terrains vagues où existaient de véritables mares et des fossés remplis d'une eau stagnante et infecte.

Une autre question nous préoccupait également: le magasin contenant les approvisionnements de jute, de chanvre, les bandes goudronnées, les matières combustibles, n'était même pas séparé par un mur plein, mais par de simples arcades sur piliers du grand hall contenant les machines; et la construction tout en bois desséché par les grandes chaleurs de l'été, n'eût pas été préservée si un incendie s'était déclaré. Il est probable qu'avant qu'on eût pu mettre une pompe en batterie ou recevoir des secours de Toulon, tout eût été embrasé; peut-être même le personnel de l'usine n'eût-il pu utiliser la pompe dont elle est pourvue, mais qui, en l'absence de tout abri spécial, était remisée dans la salle des machines.

Pendant plusieurs années, sans autres ressources que celles mises à notre disposition pour l'entretien des bâtiments, nous avons travaillé à constituer un véritable drainage dans le sol de l'usine d'abord et ensuite dans les terrains en dépendant; plusieurs nouveaux conduits allant déboucher dans la darse ont été substitués au conduit unique servant à l'évacuation des eaux des cuves et des eaux d'arrosage pendant la fabrication. En outre, pour remédier au défaut de pente des chéneaux de la toiture de chaque travée, un fractionnement de la surface totale a été pratiqué, des conduites de descente amenées à l'intérieur même de

l'usine contre les piliers supportant la toiture et groupées de manière à faire de véritables chasses dans les caniveaux par les grandes pluies du commencement et de la fin de l'hiver. Depuis trois ans déjà, les inondations qui se produisaient soit en temps de pluie, soit lorsque le vent d'est faisait monter l'eau de la mer dans la darse et refoulait l'eau s'écoulant de l'usine, ne se sont plus renouvelées.

A l'extérieur le résultat a été aussi satisfaisant : les fossés et les mares ont été comblés, deux caniveaux spéciaux installés dans le sol ont rendu possible l'écoulement immédiat à la mer de l'eau qui jusque-là s'accumulait à la base des murs et rendait quelquefois impossible l'entrée dans l'usine par certaines portes, par celle de la chaufferie notamment; enfin, une plantation de luzerne et de quelques arbustes a assaini le terrain.

La crainte d'incendie a été en partie supprimée par l'autorisation que l'administration nous a donnée, en 1889, de transporter à la Seyne, dans les terrains libres de l'usine, les bâtiments qui avant 1882 constituaient l'usine du Mourillon et dont le génie demandait la démolition en vue du remaniement et de la suppression partielle de la fortification.

Les bâtiments du Mourillon furent démolis en 1890; les matériaux soigneusement repérés, embarqués sur des chalands, transportés dans la darse de l'usine de la Seyne et reconstruits sous la direction de notre collaborateur M. l'ingénieur Deries. Nous pûmes ainsi constituer dans les dépendances de l'usine (*fig.* 2) un magasin MN couvrant environ 600 mètres carrés de superficie, un petit magasin G isolé destiné à recevoir les matières dangereuses : goudron, brai, coaltar, etc., et un vestiaire O pour les ouvriers. Le bâtiment MN

fut divisé en deux parties: M magasin de l'usine destiné à recevoir les fils de fer, les fils de jute, les bandes goudronnées; N magasin naval, ouvrant sur le quai, destiné à recevoir l'outillage spécial de la *Charente*, les rechanges et les engins et agrès divers mis à terre dans les périodes de désarmement.

Cet ensemble de nouveaux bâtiments, qui devait diminuer les chances d'incendie de l'usine et rendait disponible toute la partie servant autrefois de magasin, entraîna une dépense de 8.000 francs; remis aux domaines, ils eussent été vendus 2.000 à 3.000 francs au plus, et construits à neuf à la Seyne eussent coûté de 16.000 à 18.000 francs. L'opération fut donc avantageuse à l'État à tous points de vue, car tôt ou tard il eût fallu créer ces magasins pour rendre disponible la partie de l'usine occupée aujourd'hui par de nouvelles machines.

La construction de nouveaux magasins rendit nécessaire le tracé de nouvelles routes d'accès; l'assainissement des terrains vagues facilita cet établissement. L'administration ayant admis une annuité pour l'entretien des chemins, nous avons pu compléter l'usine sous ce rapport et rendre les communications faciles entre les divers bâtiments, en même temps que les camions amenant le matériel de la gare peuvent en approcher sans crainte de rester embourbés dans le sol détrempé. Le petit chemin de fer Decauville, qui n'existait primitivement que dans l'usine, fut prolongé à l'extérieur jusqu'aux magasins.

Les berges de la darse, qui n'étaient pourvues de quai en maçonnerie que du côté longeant l'usine, se dégradaient considérablement sous l'action de la mer; notre prédécesseur avait dû soutenir les terres à l'aide

d'empierrements retenus par des pieux enfoncés à la masse. Ce procédé économique de consolidation ne pouvait être longtemps efficace; les pieux furent promptement pourris et les pierres descendirent en partie dans la darse. Dès 1889 nous nous préoccupâmes de cette situation qui, en s'aggravant, pouvait avoir de graves conséquences, et nous proposâmes à l'administration d'achever d'entourer la darse de quais en construisant successivement le quai sud, le quai nord et finalement le quai est. Le quai sud fut construit dès 1890 et le quai nord en 1892.

Établie et développée ainsi que nous venons de l'exposer, l'usine de la Seyne a produit, de 1883 à 1893, les longueurs de câble suivantes :

	CABLE de grand fond	CABLE intermédiaire	CABLE à double armure
	mètres	mètres	mètres
1883	113.318 (1883-1884)	11.755	13.380
1884		5.060	48.224
1885	»	46.458	23.650
1886	105.475	64.591	43.310
1887	21.104	»	21.104
1888	154.264	15.893	19.205
1889	83.012	47.475	27.145
1890	127.372	20.680	32 140
1891	443.842	44 218	26.420
1892	50.192	»	35.634
1893	12.144	»	»
Longueurs totales fabriquées	1.010.723	256.130	290.212
Heures de marche des machines	3.000 h.	1.100 h.	1.400 h.

La fabrication à l'aide d'un type unique de machine de trois espèces de câble si différentes par leur poids (*)

(*) Le poids des trois types de câble employés en France est, par kilomètre, de :

Câble de grand fond. . . . . 835 kilogrammes.
Câble intermédiaire. . . . . 1.950 —
Câble à double armure. . . . . . . 4.200 —

n'était pas sans présenter de graves inconvénients ; au cours de la fabrication on est obligé d'arrêter brusquement la machine pour éviter des accidents de diverses natures, pour remplacer les bobines de fil de fer et de fil de jute, pour refaire des brasures qui viennent à manquer, ou rattacher des fils de jute rompus. Dans ces arrêts, la machine elle-même fait volant et il en résulte des chocs et des tendances en particulier à l'écrasement des galets de roulement des plateaux à fil de fer si lourdement chargés lorsqu'il s'agit d'un câble côtier ou même d'un câble dit intermédiaire. En outre la vitesse de fabrication est forcément de plus en plus ralentie à mesure que la masse du câble augmente. Pour ces motifs les usines anglaises sont pourvues de trois types de machines à revêtir les âmes ; les unes dites légères pour la fabrication du câble à petit diamètre, d'autres plus solidement établies pour le câble intermédiaire, enfin d'un type de machines lourdes pour la fabrication des câbles côtiers. On peut se faire une idée des dimensions relatives des plateaux supportant dans chaque cas les bobines à fil de fer en comparant les diamètres des pièces de 1 franc, de 2 francs et de 5 francs.

Au moment où l'on eut à pourvoir de machines la nouvelle usine de la Seyne, on se décida, dans un but d'économie, à n'y installer que des machines du type intermédiaire qui, à la rigueur, pouvaient servir aux trois fabrications. Il en résulta que l'on ne put que très exceptionnellement dépasser la production de 3.500 mètres de câble de grand fond par journée de dix heures de travail (nous sommes arrivés à 4.000 mètres pendant la fabrication du câble de Corse) et que les machines durent subir à plusieurs reprises d'im-

portantes réparations; en particulier, en 1891, on dut remplacer intégralement les plateaux à bobines de fil de fer de l'une d'elles, ce qui entraîna une dépense de 4.600 francs. Aussi, dès la fin de 1889, dans la préparation des prévisions budgétaires pour l'exercice 1891, avions-nous demandé l'acquisition et l'installation à l'usine d'une machine à câbles légère qui, avec les mêmes frais de main-d'œuvre, devait permettre de fabriquer le câble de grand fond à raison de 5.000 à 5.500 mètres par jour au lieu de 3.000 à 3.500. Cette proposition se justifiait amplement en raison des grandes longueurs de câble que le service de la Seyne allait avoir à fabriquer soit pour la réparation du câble de Marseille à Alger (1871), soit en vue de la pose d'un nouveau câble de France en Corse.

C'est avec les moyens que nous venons d'exposer qu'au printemps de 1891 l'usine de la Seyne entreprit et termina en soixante-quinze jours de travail la fabrication du câble à poser entre Toulon et Ajaccio, et du câble destiné à l'entretien, soit 407.830 mètres de câble de grand fond en faisant fonctionner les deux machines à la fois. Leur production moyenne fut de 2.700 mètres par journée de dix heures.

La seule modification apportée à l'outillage consista dans l'installation de deux nouveaux tours à embobiner le fil de fer, dont le nombre, qui était de trois au moment de la construction de l'usine, fut ainsi porté à cinq. On eût économisé trente-cinq jours sur la durée de la fabrication si l'usine eût été pourvue de machines légères.

On voit, par cet exemple de fabrication, combien notre demande d'installation d'au moins une machine légère était justifiée.

La demande d'un devis pour la fabrication et la pose des câbles de Marseille à Oran et de Marseille à Tunis, que l'administration nous adressa au mois de juillet 1890, prévoyait, dans le programme qui nous était tracé, l'achat d'une ou de deux de ces machines en même temps que l'agrandissement des cuves actuelles ou l'établissement de nouvelles cuves destinées à recevoir le câble fabriqué et l'élargissement du bassin de l'usine, de façon qu'il puisse recevoir un navire d'un tonnage suffisant pour l'immersion de chacun des câbles.

Le projet, établi conformément à la demande de l'administration, prévoyait l'installation de deux machines légères et, comme conséquence, celle d'un nouveau moteur pour les actionner directement, de manière à permettre d'utiliser simultanément tout l'outillage de l'usine. En outre, on devait faire l'acquisition de deux tours à embobiner le fil de jute, de quatre tours pour le fil de fer, d'un nombre égal pour les rubans et enfin d'une deuxième caisse à fabriquer les composés bitumineux.

Nous proposions pour les cuves d'exhausser les deux cuves basses en maçonnerie et de leur donner la même hauteur que celle des quatre autres; mais nous demandions en même temps la construction de deux nouvelles cuves, par ce motif qu'il fallait tenir compte des approvisionnements de l'usine et que le seul câble d'Oran, comportant près de 1.200 kilomètres de câble de grand fond, exigeait à lui seul quatre cuves pour être logé en cours de fabrication.

Enfin, nous proposions pour l'élargissement de la darse de porter sa largeur à 58 mètres en rejetant à la mer vers l'est une partie du terre-plein la limitant du

côté de la rade; nous exprimions en plus l'avis que la largeur du chenal fût doublée et que l'épi qui se trouvait à l'est à son débouché dans le chenal de la Seyne fût enlevé pour faciliter l'entrée des navires.

Ces diverses propositions n'aboutirent pas immédiatement, la fabrication et la pose des deux câbles ayant été mises en adjudication; mais la commission spéciale, instituée en septembre 1891 à l'effet d'étudier le meilleur emploi à faire de la somme restant disponible sur les crédits accordés à l'administration pour les câbles de Tunis et d'Oran, les reprit et, à quelques modifications près, les fit adopter.

En ce qui concerne l'usine de la Seyne, la commission proposa à M. le directeur général, qui accepta ce programme :

l'acquisition et l'installation de deux machines légères de revêtement;

d'une seconde machine motrice semblable à celle qui fut installée en 1882 et d'une troisième grande chaudière;

la modification des lignes d'arbres et du tuyautage;

la construction d'un nouveau dépôt de charbon;

l'installation d'une machine à câbler les âmes pour la fabrication de câbles à plusieurs conducteurs;

la construction d'un réservoir pour bobines d'âme et d'un hangar le recouvrant;

l'exhaussement des deux cuves basses en maçonneries;

l'installation de nouveaux tours à fer, à jute, à rubans, de cinq cuves pour lover les âmes en tête des machines de relèvement;

la construction du quai Est de la darse;

la suppression de l'épi à l'entrée du chenal de la Seyne.

La commission prévoyait, en outre, les crédits nécessaires pour diverses menues installations accessoires; l'ensemble des dépenses prévues avant l'établissement des projets définitifs s'élevait à 252.250 fr.

Machines légères pour le revêtement des âmes. — Dans notre devis fourni à l'administration à l'occasion du projet d'établissement des câbles de Marseille à Oran et à Tunis, nous avions prévu une somme de 30.000 francs par machine pour sa construction et son installation. La commission évalua les deux machines à 72.000 francs et affecta une somme de 6.000 francs aux fondations, soit en tout 78.000 francs (*).

Notre pensée était qu'il fallait, en raison de l'absence de toute industrie similaire en France, nous adresser, comme l'avait fait la Société des téléphones, à l'industrie anglaise de manière à profiter des derniers perfectionnements réalisés.

L'administration voulant faire bénéficier l'industrie française des dépenses qui allaient être faites, en jugea autrement et nous reçûmes l'ordre de procéder à une adjudication restreinte. Cette décision imposa au service de la Seyne un accroissement de travail très grand pour établir les plans des machines à mettre en commande. Nous possédions, en effet, les plans des machines existantes, mais il fallut une étude complète et de nouveaux calculs pour arrêter les dimensions des divers organes, de manière à obtenir la résistance correspondant à une vitesse plus considérable tout en allégeant les parties similaires des ma-

(*) En raison de la nature du terrain choisi pour l'emplacement de l'usine, celle-ci et toutes les machines pesantes ont été établies sur pilotis et sur des assises formées par un massif de béton.

chines existantes. Le cahier des charges et les plans indispensables aux constructeurs qui devaient se rendre tout d'abord un compte exact de la nature des machines dont la construction leur était demandée, exigèrent plusieurs mois. Enfin, en juillet 1892, le concours put être ouvert entre les constructeurs de machines auxquels on avait cru pouvoir s'adresser. Deux seulement acceptèrent de faire des offres et adressèrent des propositions. Celles-ci étaient inacceptables, car les prix demandés dépassaient 55.000 francs par machine et les délais de construction étaient pour l'un de neuf mois, pour l'autre de dix-huit.

Nous fûmes en conséquence autorisés à nous rendre en Angleterre et à y étudier la question.

Un constructeur de Manchester avait livré des machines à l'usine de Calais; M. Grammont s'adressa également à lui pour outiller l'usine de Saint-Tropez. Mais le directeur de l'usine de Calais nous signala obligeamment certaines négligences de construction et nous fumes conduit à traiter avec d'autres maisons.

M. Gray, le si honorable fondateur et directeur des établissements de Silvertown près de Londres, avait déjà fourni les machines montées à l'usine de la Seyne en 1882; malgré l'intérêt qu'il pouvait avoir à ne pas nous venir en aide, il voulut bien, en raison de ses longs et anciens rapports avec l'administration française, accepter de nous faire construire et installer à la Seyne deux machines légères du dernier type mis en service dans ses usines. La rédaction du marché à passer ne devait avoir lieu qu'après que nous aurions examiné et vu fonctionner les machines semblables en service à Silvertown.

Ces machines présentent, par rapport à celles de la

Seyne, cette différence essentielle que le revêtement est scindé en deux opérations distinctes, ce qui a lieu également dans les nouvelles usines de Calais et de Saint-Tropez. L'enroulement du fil de jute sur l'âme est fait à part, et l'âme recouverte est amenée ensuite à la machine à fil de fer et lovée en tête dans une cuve. Cette division du travail est très avantageuse, car avec la disposition des machines de la Seyne, tout accident, tout besoin de remplacer les bobines de fil de fer, par exemple, oblige à arrêter les plateaux à fil de jute, et réciproquement tout arrêt des plateaux à jute pour rattacher un fil ou remplacer des bobines oblige à l'arrêt de toute la machine; or, les pertes de temps occasionnées par ces arrêts sont de deux heures sur dix heures de travail. En divisant la machine, on les réduit à une heure à peu près.

De plus, la division présente un autre avantage : on peut, à beaucoup moins de frais, introduire des modifications dans la composition du câble. Ainsi, il est facile d'intercaler entre les deux couches de jute une lame de cuivre pour préserver l'âme de l'attaque des tarets, la modification de la machine est alors peu coûteuse.

Enfin et surtout on n'a pas besoin de régler la vitesse d'enroulement du jute sur celle des fils de fer et l'on peut ainsi gagner de la vitesse dans la première opération.

Toutes ces raisons nous frappèrent dans notre visite à Silvertown; mais les dispositions prises en 1882, en vue du développement ultérieur de l'usine, ne se prêtaient pas à l'adoption de la nouvelle combinaison des machines anglaises. Il eût fallu, en effet, trouver un emplacement spécial pour les nouvelles machines à

jute et créer de nouvelles lignes d'arbres, ce qui eût entraîné une augmentation des dépenses prévues, eût obligé à un remaniement de projets en cours d'exécution et occasionné des retards alors que l'administration nous pressait de tout terminer sur l'exercice 1893.

Force nous fut donc de demander à M. Gray de faire construire des machines comportant à la fois le recouvrement de l'âme à l'aide de fil de jute et la fabrication de l'armure métallique.

M. Gray s'engagea à tenir les machines prêtes à être livrées à son usine de Silvertown : la première quatre mois, la seconde cinq mois et demi après l'approbation de son marché, et cet engagement fut tenu avec une ponctualité parfaite. L'approbation avait été donnée par le ministre le 28 ootobre 1892, elle avait été notifiée à M. Gray le 4 novembre, et le 4 mars 1893, la première machine était embarquée sur l'*Alphée*, des Messageries maritimes, à destination de Marseille; la seconde l'était à son tour le 25 du même mois.

Cette fourniture devait être faite, rendue à Marseille, au prix de 54.520 francs, M. Gray s'engageant à envoyer à ses frais un agent pour diriger sur place le montage; le service des câbles devait, de son côté, tenir les fondations prêtes pour le moment où le montage pourrait être entrepris et assurer, aux frais de l'administration, le transport des machines de Marseille à l'usine. Cette série d'opérations pour lesquelles l'administration nous laissa toute initiative fut poursuivie sans qu'une difficulté de quelque nature que ce fût se produisit. Nous nous étions adressés à un fournisseur consciencieux, nous avions eu confiance en lui et ne l'avions aucunement entravé par de minutieuses et quelquefois tracassières observations; nous lais-

sâmes toute latitude à son monteur pour procéder à l'installation des machines comme il l'entendait, mais en lui donnant, bien entendu, le plus entier concours.

La première machine arrivée à Marseille fut transbordée le 17 mars sur les chalands de l'entreprise spéciale des transports remorqués; avis fut donné de sa prochaine arrivée à la Seyne à M. Gray. Le monteur qui, aux termes du marché, ne devait pas séjourner à ses frais plus de deux mois à l'usine, y arriva le 6 avril, et le 27 mai nous procédions aux essais de réceptions qui donnèrent toute satisfaction.

Nous avons jugé intéressant d'entrer dans ces détails, peut-être un peu trop administratifs pour un recueil comme les *Annales télégraphiques*, parce que nous avons trouvé là une occasion de montrer combien, dans certains cas, il y a intérêt à traiter directement avec des maisons honorablement connues, fortement constituées et outillées, sans avoir recours à l'adjudication quand même, trop souvent accompagnée d'un cortège de surprises et de déceptions.

Les dépenses s'élevèrent au total de 69.312f,53, se répartissant ainsi :

Prix des deux machines	51.520f,00
Droits de douane	2.269 ,32
Frais de transport de Marseille à l'usine	1.364 ,30
Fondations	6.686 ,82
Montage, main-d'œuvre, apparaux	1.018 ,82
Installation complémentaire, tuyaux, estrade, escaliers, dalles, poulies, etc.	1.453 ,27
	69.312f,53

La description des nouvelles machines serait ici sans utilité. On la trouve dans les traités spéciaux et en particulier dans le *Traité de télégraphie sous-marine*, publié en 1888 à la librairie polytechnique, Baudry

et C[ie], par M. Wunschendorff, ingénieur des télégraphes.

Tour à embobiner le fil de jute. — Les bobines des nouvelles machines anglaises différaient, par leurs dimensions, de celles des machines existantes; celles-ci sont beaucoup plus courtes et les contenances varient dans le rapport de 1.800 à 785 mètres de fil. Il en résulte un avantage très marqué pour la fabrication, le nombre des arrêts pour remplacement des bobines vides étant réduit de plus de moitié.

Cette considération nous a amené à ne pas demander aux constructeurs anglais de nous fournir des bobines de l'ancien type; mais de là une première raison pour doter l'usine de la Seyne d'un nouveau *tour à jute*.

A un autre point de vue, son installation était indispensable ; au cours de la fabrication du câble d'Ajaccio, en 1891, on n'a pu alimenter en fil de jute les deux machines à revêtement marchant simultanément qu'en faisant travailler le tour d'embobinage deux heures en plus chaque jour. L'usine étant pourvue de quatre machines pouvant fonctionner en même temps, on n'aurait pu obtenir le maximum de travail si un tour spécial n'avait pas dû assurer l'alimentation en bobines à jute des deux nouvelles machines devant consommer presque le double de fil.

Le tour existant et qui a naturellement été remonté pour assurer le service des anciennes machines à revêtement, présente deux graves inconvénients : 1° le va-et-vient qui répartit le jute uniformément sur le noyau des bobines est conduit par une corde qui s'allonge et à laquelle il faut fréquemment retoucher; 2° chaque

groupe de deux bobines est commandé par une courroie spéciale qu'il faut déplacer selon que l'ouvrier doit arrêter le mouvement d'une bobine ou la remettre en marche; par suite, le travail se trouve suspendu sur deux bobines à la fois et, d'autre part, l'emploi de courroies est toujours dangereux pour les ouvriers qui peuvent avoir les vêtements saisis.

Dans notre voyage dans le Nord et à Londres, en vue des études préparatoires, nous avions vu fonctionner un système beaucoup plus simple, donnant d'excellents résultats et qui nous a été particulièrement recommandé à l'usine des câbles de Calais. Nous en prîmes un croquis rapide et c'est ce système que nous demandâmes à l'administration d'installer à la Seyne.

Le va-et-vient guide-fil est commandé par une tige oscillant sous l'action d'un excentrique; le mouvement des bobines est obtenu par leur simple frottement sur des cylindres constamment en mouvement, de telle sorte que toutes les courroies du système primitif sont supprimées et qu'il y a complète indépendance entre toutes les bobines.

Le nombre de broches dont il fallait pourvoir le nouveau tour a été déterminé par les considérations suivantes :

Le tour actuel comporte 8 broches, de façon que l'on puisse garnir 8 bobines à la fois; pour suffire à l'alimentation de deux machines travaillant d'une façon effective pendant 8 heures sur 10 de travail à raison de 3.500 mètres par machine et par jour, soit de 7.000 mètres de câble, il a fallu 12 heures de travail au tour, soit 2 heures supplémentaires. Le nombre de broches pour satisfaire à la consommation, le tour ne fonction-

nant que 10 heures, aurait donc dû être de

$$\frac{8 \times 12}{10} = 9{,}6 \quad \text{soit 10 au lieu de 8,}$$

et il y a tout intérêt à éviter le travail supplémentaire, toujours plus coûteux, et qui exige une dépense spéciale de surveillance.

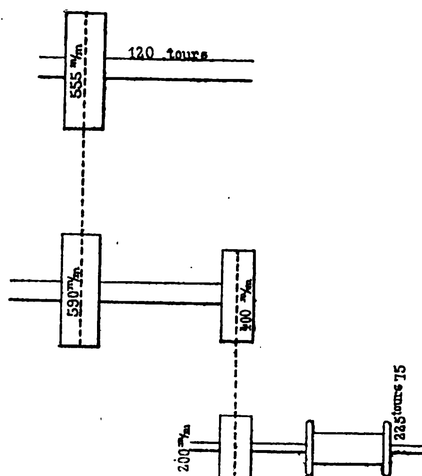


Fig. 3.

L'arbre qui commandait l'ancien tour faisait 120 révolutions à la minute; en tenant compte des diamètres des poulies (*fig.* 3), on voit que la bobine faisait

$$\frac{120 \times 555 \times 400}{590 \times 200} = 225{,}75 \text{ tours par minute,}$$

soit $3^{\text{tours}},75$ par seconde.

Cette vitesse pouvait être légèrement augmentée sans inconvénient, étant donné que le dévidage des écheveaux serait facilité; nous l'avons fixée à 4 tours par seconde.

Les données comparatives des bobines sont les suivantes :

	Petites bobines. Vitesse, $3^{tours},75$ par seconde.	Grandes bobines. Vitesse, 4 tours par seconde.
Longueur du tour moyen $\frac{\pi(D+d)}{2}$	314 millim.	314 millim.
Nombre de couches..............	30	28,66
Nombre de tranches..............	83,33	200
Nombre de tours................	2 500	5.732
Longueur du fil..................	785 mètres	1.800 mètres
Durée de l embobinage...........	666″,66 ou 11′,1	1.433″ ou 23′,9

Le nombre des bobines nécessaires pour exécuter un travail est proportionnel à la longueur du fil à à employer et inversement proportionnel, d'une part, à la contenance des bobines et, d'autre part, à leur vitesse d'enroulement. Si nous admettons que la production avec les anciennes machines était de 7.000 mètres de câble, avec les machines légères elle devra être de 10.000 mètres par jour, les longueurs de fil de jute à employer étant proportionnelles à celles du câble fabriqué. Si nous appelons n le nombre des anciennes bobines et n' celui des nouvelles, nous pouvons poser l'équation

$$\frac{n}{n'} = \frac{7000}{10000} \times \frac{1800}{785} \times \frac{4}{3,75},$$

d'où l'on tire

$$n' = 0,584\, n.$$

Nous pouvons, d'autre part, évaluer n nombre des bobines employées par jour avec les anciennes machines marchant simultanément.

En effet, une petite bobine exigeant 11′,1 pour l'embobinage, on doit admettre 16 minutes par bobine pour tenir compte des manipulations accessoires, changements de bobines, rattachage des fils, installations des

écheveaux sur la dévidette ou de la pelote de fil sur sa broche. On garnit donc à l'ancien tour par broche et par journée de 10 heures :

$$\frac{600}{16} = 37,5 \text{ petites bobines.}$$

10 broches en fourniraient 375.

On trouve donc que le nombre de grandes bobines nécessaires pour répondre à la consommation des deux machines nouvelles devait être

$$n' = 375 \times 0,584 = 219, \text{ soit } 220.$$

Ce nombre de bobines pleines consommées par jour par les deux nouvelles machines étant déterminé, et le le temps nécessaire à l'embobinage à la vitesse de quatre tours à la seconde étant de 23′,9 qu'il faut porter à 30 minutes pour les raisons indiquées ci-dessus, on voit qu'on pourra garnir 20 bobines par journée de 10 heures et par broche, et que le nombre de celles-ci devra être de

$$\frac{220}{20} = 11 \text{ broches.}$$

Nous avons admis le nombre de 12 broches pour le nouveau tour.

Une dispositiou symétrique par rapport à l'axe moteur était la plus économique ; de plus, elle se prêtait très bien à l'installation du nouveau tour dans l'alignement de l'ancien, transporté du grand hall dans la partie nord-est de l'usine rendue disponible par le transfert des magasins. C'est celle que nous avons adoptée.

L'axe principal A donne ainsi le mouvement à deux axes secondaires B portant chacun six tambours de frottement de 20 centimètres de diamètre.

L'arbre moteur représenté dans la *fig.* 4 à côté du tour, mais en réalité installé au-dessus, faisant 100 tours à la minute ou 10/6 par seconde, en tenant

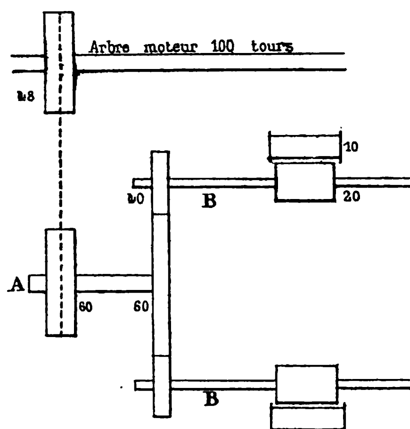


Fig. 4.

compte des diamètres des poulies et roues dentées et, d'autre part, le diamètre du tour moyen du fil sur la bobine étant de 10 centimètres, nous obtînmes la vitesse moyenne de rotation de la bobine.

$$\frac{10}{6} \times \frac{48}{60} \times \frac{60}{40} \times \frac{20}{10} = 4 \text{ tours à la seconde.}$$

Chaque bobine est portée par un étrier E reposant sur un axe lui-même supporté par un fer cornière *c* qui établit la liaison entre les trois chaises principales du tour. L'étrier tend constamment, sous l'action d'un contre-poids G (système de l'usine de Calais), à se rapprocher de la verticale et par suite la bobine est amenée contre son tambour d'entraînement T qui pénètre exactement entre les deux joues et appuie sur le fil de jute.

Par un mouvement inverse de bascule, la bobine

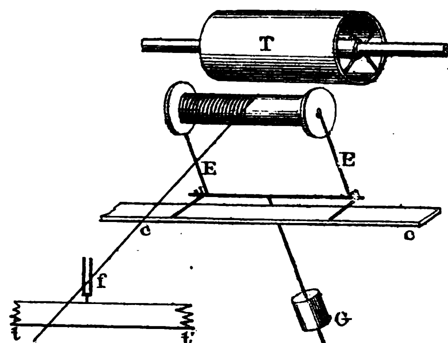


Fig. 5.

peut être éloignée pour les arrêts et une pièce à ressort portant une petite saillie maintient l'étrier dans sa nouvelle position. On voit que l'indépendance des bobines est entièrement obtenue et que les ouvriers n'ont absolument rien à craindre dans la manœuvre de ce tour. Aussi à Calais emploie-t-on, pour la confection des bobines de jute, des ouvrières dont le salaire est naturellement moins élevé que celui des hommes réservés pour des travaux plus en rapport avec leur force et leur résistance au travail.

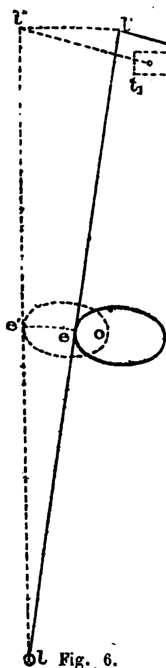


Fig. 6.

Le mouvement de va-et-vient qui commande la tige tt' portant le guide-fil f a été obtenu, à la Seyne, à l'aide d'un excentrique c (*fig.* 6) portant sur

chaque face une gorge dans laquelle pénètre un petit tenon servant d'axe à un galet de bronze. Ce tenon est fixé sur un levier ll' qui est double, de manière à saisir l'excentrique sur ses deux faces; à sa partie supérieure, le levier forme fourchette pour saisir l'extrémité d'une bielle rattachée à la tige tt'. Celle-ci devant se déplacer d'une longueur tt_1 sous l'action du levier ll' qui prend la position extrême ll'' et toutes les positions intermédiaires, si la longueur du levier est assez grande par rapport au déplacement $l'l''$, on peut admettre qu'à un mouvement uniforme du levier correspondra un mouvement uniforme de la tige tt' et par suite de chaque guide-fil f, ce qui est nécessaire pour obtenir un enroulement régulier.

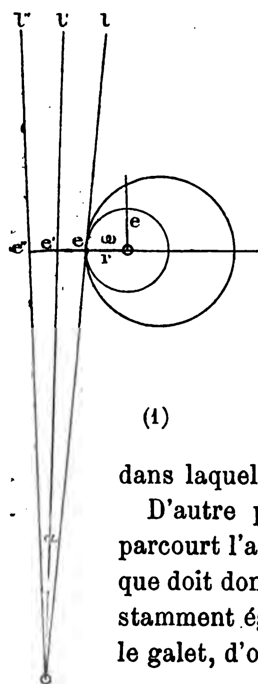


Fig. 7.

Si le mouvement uniforme du levier est réalisé, à un même déplacement angulaire ω de l'arbre de l'excentrique correspondra un même déplacement angulaire α du levier (*fig.* 7), d'où la relation

$$(1) \qquad \omega = a\alpha,$$

dans laquelle a est une constante.

D'autre part, le galet de l'excentrique parcourt l'arc $e\,e''$; le rayon ρ de l'excentrique doit donc augmenter d'une longueur constamment égale à celle de l'arc parcouru par le galet, d'où la seconde relation

$$(2) \qquad \rho = r + \text{arc } \alpha.$$

Des relations (1) et (2), on tire l'équation polaire de

la courbe de l'excentrique

$$\rho = r + \text{arc}\,\frac{\omega}{a},$$

si $\omega = 180^\circ$ α correspond à l'arc ee' limite, qui peut être calculée et l'on peut obtenir la valeur de a, et la courbe peut être construite par points.

Le mouvement uniforme de va-et-vient des guide-fil étant ainsi obtenu, il faut qu'il se produise à la vitesse voulue, c'est-à-dire que le déplacement de la tige tt' dans un sens ait lieu pendant que la bobine est intégralement recouverte d'une couche de fil, soit pendant qu'elle fait 200 tours.

Nous avons adopté à cet effet la disposition déjà réalisée sur le tour existant pour mettre en mouvement un cylindre portant une rainure hélicoïdale (*fig.* 8).

Fig. 8.

L'axe principal du tour porte une partie filetée qui engrène avec une roue à dents hélicoïdales r; l'axe de celle-ci porte un pignon r' avec lequel engrène une roue r'' dont l'axe porte l'excentrique. Pendant que la bobine fait 200 tours, l'axe principal en fait 66,66 et chaque tour fait avancer la roue r d'une dent; la vitesse de rotation de l'axe de l'excentrique sera donc :

$$\frac{66,66}{r} \times \frac{r'}{r''};$$

mais, pendant que l'axe principal fera 66,66 tours, l'excentrique en devra faire 1/2 seulement; on a donc la relation :

$$\frac{66,66}{r} \times \frac{r'}{r''} = \frac{1}{2},$$

ou :

$$\frac{rr''}{r'} = 133,32.$$

la disposition la plus favorable à adopter nous a paru consister à donner respectivement aux roues r et r'' et au pignon r', 45, 60 et 15 dents; on a, en effet, dans ce cas :

$$\frac{rr''}{r'} = \frac{45 \times 60}{20} = 135.$$

Tout l'ensemble du tour a été établi sur un bâti en chêne reposant sur un massif de béton construit sur un petit nombre de pilots dont l'ensemble dessinait la forme du bâti.

Les axes portant les tambours d'entraînement sont supportés par trois chaises en fonte fortement fixées par des boulons au bâti et rendues solidaires par des fers cornières boulonnés sur des équerres elles-mêmes fixées aux chaises.

L'axe principal porté par l'une des trois chaises dont il vient d'être parlé, repose à son autre extrémité sur une chaise spéciale. Enfin, le moteur de l'excentrique et l'axe de ce dernier sont supportés par trois chaises reposant sur des traverses longitudinales.

Le tour ne comporte qu'un excentrique sur l'une des faces; un axe commun rend solidaires les deux leviers agissant sur les guide-fil de chaque côté du tour.

Le tour est disposé de telle façon que les deux axes supportant les cylindres entraîneurs peuvent être allongés et que le nombre des broches pourrait ainsi être facilement porté de 12 à 16 ou 18.

La construction du tour à jute fut mise au concours au mois de mars 1893; trois constructeurs de la région présentèrent des propositions. Elle fut adjugée au prix

de 2.490 francs avec un délai de livraison de trois mois. L'ancien tour, qui ne comportait que huit broches au lieu de douze, avait été payé 2.410 francs, mais un certain nombre des organes qui le composaient provenaient de l'ancienne usine du Mourillon.

Tours à fil de fer. — Trois tours spéciaux pour l'embobinage du fil de fer ont été installés en vue d'assurer l'approvisionnement des nouvelles machines à revêtement. Nous avons adopté pour leur construction une disposition réalisée à l'usine de Calais et qui présente ce grand avantage que le tour peut être utilisé pour dévider des couronnes de fil dont le diamètre intérieur peut varier dans de certaines limites plus étendues qu'avec l'ancienne dévidette (*fig.* 9). En outre, la couronne de fil se trouve constamment saisie par les deux cônes qui s'emboîtent l'un dans l'autre et le décapelage du fil ne peut plus se produire. La *fig.* 10 suffit pour faire comprendre en quoi consistent les cônes qui sont formés de sortes de V en fer fixés par leurs bases à des plateaux dont l'inférieur A porte un axe fixe sur lequel le second B peut glisser de haut en bas ou inversement.

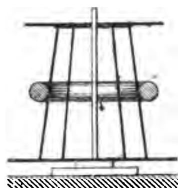


Fig. 9.

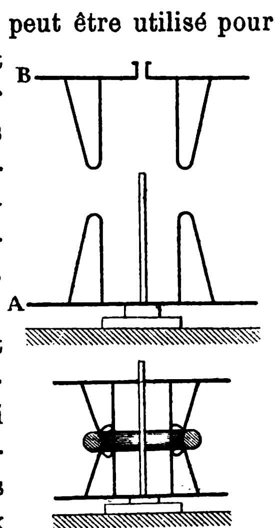


Fig. 10.

Machine à câbler les âmes. — D'assez nombreux câbles à trois, cinq et même sept conducteurs servent à faire franchir aux lignes aériennes des fleuves et des estuaires, et l'administration ne disposait pas des moyens nécessaires pour fabriquer les longueurs devant servir aux réparations.

La machine à câbler les âmes, dont l'emplacement est indiqué par le chifffre 5 de la *fig.* 2, a été installée, comme les tours à fil de jute, dans la partie de l'usine rendue disponible en 1890 par le transfert des magasins d'approvisionnements. Elle a pour objet de constituer les torons d'âmes qui entrent dans la composition des câbles à plusieurs conducteurs ; rien n'est changé d'ailleurs au mode de fabrication de l'armure effectuée avec les grosses machines à revêtement, l'âme unique des câbles à un seul conducteur est simplement remplacée par le toron de plusieurs âmes.

Le succès de la fabrication d'un câble à plusieurs conducteurs dépend en grande partie de celle du toron des âmes ; il faut, en effet, que celui-ci ait une section circulaire parfaitement calibrée. C'est à quoi on parvient en tordant les âmes avec des fils de jute d'un diamètre convenable qui doivent remplir les vides laissés entre elles par les âmes sans les pénétrer de telle façon que la pression des couches protectrices et de l'armure qui viendront ensuite recouvrir le toron ne puissent écraser la gutta-percha (*fig.* 11). Le toron des âmes et des fils de jute est recouvert comme l'âme des câbles à un conducteur de deux couches de fil de jute enroulées en sens inverse et finalement maintenues par un ruban de coton.

Le toron ainsi constitué est très maniable et peut alors être facilement lové en tête d'une machine à re-

vêtement qui ne sert plus que pour la constitution de l'armure métallique, les plateaux à jute de cette machine n'étant plus utilisés.

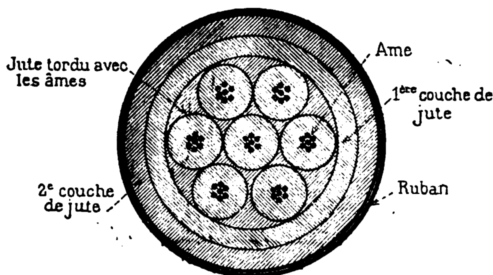


Fig. 11.

Pour répondre aux divers buts qu'elle doit remplir, la machine à câbler les âmes comporte (*fig.* 12) :

1° Un système de plateaux P à étriers E destinés à recevoir autant de bobines d'âme B que le câble doit compter de conducteurs (moins 1, s'il existe un conducteur central) et autant de bobines *b* pour les gros fils de jute à corder avec les âmes ; un excentrique E maintient constamment horizontaux les étriers pour éviter les torsions des âmes ;

2° Deux plateaux J pour les fils de jute, généralement de 2 millimètres de diamètre, destinés à recouvrir le toron des âmes ;

3° Un plateau à ruban R ;

4° Un treuil d'appel T.

Le tout relié par des arbres et des équipages de roues dentées, calculées de manière à obtenir pour chaque organe les vitesses correspondantes aux pas des spires des âmes, des couches de jute et du ruban. Ces divers organes du mouvement ne sont pas représentés dans la figure schématique n° 12.

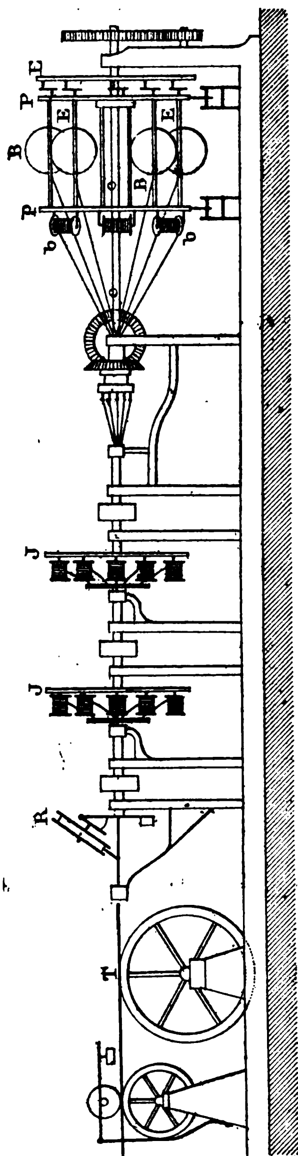


Fig. 12.

Cette machine a été étudiée avec le plus grand soin par notre collaborateur M. Deries, que nous avions chargé de ce travail spécial. S'aidant de croquis de machines analogues et des données obtenues en étudiant la transformation de l'ancienne machine du Mourillon, il a pu calculer tous les éléments de cette machine et en faire dresser les plans pour qu'il soit possible de mettre sa construction au concours.

Cette fois, l'industrie française a répondu à l'appel qui lui a été adressé, et des propositions avantageuses nous ont été faites, les plans communiqués ne devant, bien entendu, servir que pour faire connaître la nature de la machine et les données de la fabrication qu'elle devait assurer, toute responsabilité devant rester au constructeur.

La mise au concours eut lieu dans le courant

du mois de novembre 1892 et des propositions furent demandées à quinze maisons de construction. Deux d'entre elles ne répondirent pas, deux déclinèrent la proposition de se charger de ce travail, onze prirent part à l'adjudication.

La Société des constructions mécaniques de Saint-Quentin demanda un délai de quatre mois pour la livraison de la machine à l'usine de la Seyne et un prix de 21.000 francs; le délai le plus long était de dix mois et le prix demandé le plus élevé de 38.000 francs.

La fourniture fut, en conséquence, attribuée à la Société de Saint-Quentin; le marché, approuvé par le ministre, fut notifié, le 6 février 1893 et le 1er juin, la Société expédiait la machine à la Seyne; le 1er juillet on procédait, après montage, à la première épreuve permettant de prononcer la réception provisoire.

L'installation de la machine à câbler les âmes a coûté, en plus de son prix d'achat, une somme de 5.887f,50, employée à l'établissement des fondations, à diverses installations complémentaires pour l'arrosage de certaines parties de la machine et l'écoulement des eaux, enfin aux frais de surveillance de la construction aux ateliers et de montage à la Seyne, soit une somme totale de 26.887f,50; la commission spéciale avait prévu 30.000 francs.

Cette machine, dont l'initiative de la commission a doté l'usine des câbles, est appelée à rendre les plus grands services; elle a permis, en effet, à l'administration française, de s'entendre avec le Post-Office pour partager l'entretien des câbles franco-anglais qui sont, sauf celui de Jersey, à quatre ou six conducteurs. L'économie qui en résultera pour le trésor est considérable, car les frais d'armement des navires du Post-

Office, partagés par moitié avec l'administration française, sont supérieurs de plus du double à ceux des navires français; comme nous l'exposerons d'ailleurs au cours de cet article, la transformation de la machinerie de l'*Ampère* a concouru au même but.

Dès 1894, la machine à câbler les âmes a été mise en service pour la fabrication de deux câbles à trois conducteurs destinés à la traversée de la Seine, à la hauteur de Quillebœuf, et elle va être incessamment employée pour la confection de câbles de même nature destinés à l'Indo-Chine, d'un nouveau câble à cinq conducteurs pour l'estuaire de la Seine et du câble à six conducteurs, destiné à l'entretien des câbles de Boulogne à Folkestone et du Havre à Beachy Head.

Machine motrice et chaudières. — En raison de l'extension donnée aux machines de fabrication et de la nécessité, dans certains cas, de pouvoir les mettre toutes en mouvement simultanément, la machine motrice existante parut à la commission insuffisante. Il est vraisemblable qu'ainsi que nous l'avions admis en dressant les projets d'exécution par l'usine de la Seyne des câbles d'Oran et de Tunis, un moteur supplémentaire de 25 chevaux eût été suffisant. Mais du moment où l'on faisait la dépense d'une semblable installation, il était de beaucoup préférable de doter l'usine d'un second moteur semblable à celui qui avait été installé en 1882; en cas d'accident, au cours d'une fabrication pour laquelle une partie des machines de l'usine serait seule mise en service, on n'était plus exposé comme précédemment à suspendre tout travail, les moteurs étant interchangeables, et au cas où toute l'usine devrait fonctionner, les deux moteurs pourraient être accouplés.

Par des considérations analogues, la commission fut amenée à proposer l'installation d'une troisième grande chaudière, deux d'entre elles pouvant être allumées à la fois pour fournir la vapeur aux deux machines motrices, la troisième permettant d'en avoir toujours une disponible pour parer aux accidents et rendre possible l'entretien sans que la fabrication soit arrêtée.

L'emplacement tout indiqué (*fig.* 13) du nouveau moteur, en raison de son action à volonté sur le même arbre portant la poulie de transmission P, obligeait à supprimer le petit moteur provenant du Mourillon et qui était installé dans la salle des machines ; ce petit moteur, alimenté par les chaudières provenant également de la première usine, était d'un emploi très économique pour faire fonctionner les machines-outils de l'atelier de réparation en dehors des périodes de fabrication et pour mettre en mouvement les pompes *d* et *m* à eau douce et à eau de mer, destinées à remplir les réservoirs et les cuves à câble.

Cette suppression était donc désavantageuse ; mais, après une étude nouvelle, nous reconnûmes la possibilité de la réinstaller en V dans la partie principale de l'usine réservée à la fabrication ; nous proposâmes en conséquence à l'administration de la remonter et de maintenir ainsi une précieuse ressource pour l'exécution de nos travaux d'entretien de plus en plus importants.

La disposition adoptée dans la salle des machines réserve un espace E en vue de l'installation d'un groupe électrogène en vue de l'éclairage électrique de l'usine.

Pour faire place à la troisième chaudière, n° 3 de la *fig.* 13, les anciennes du Mourillon qui occupaient cet emplacement furent transférées en MM où existait le

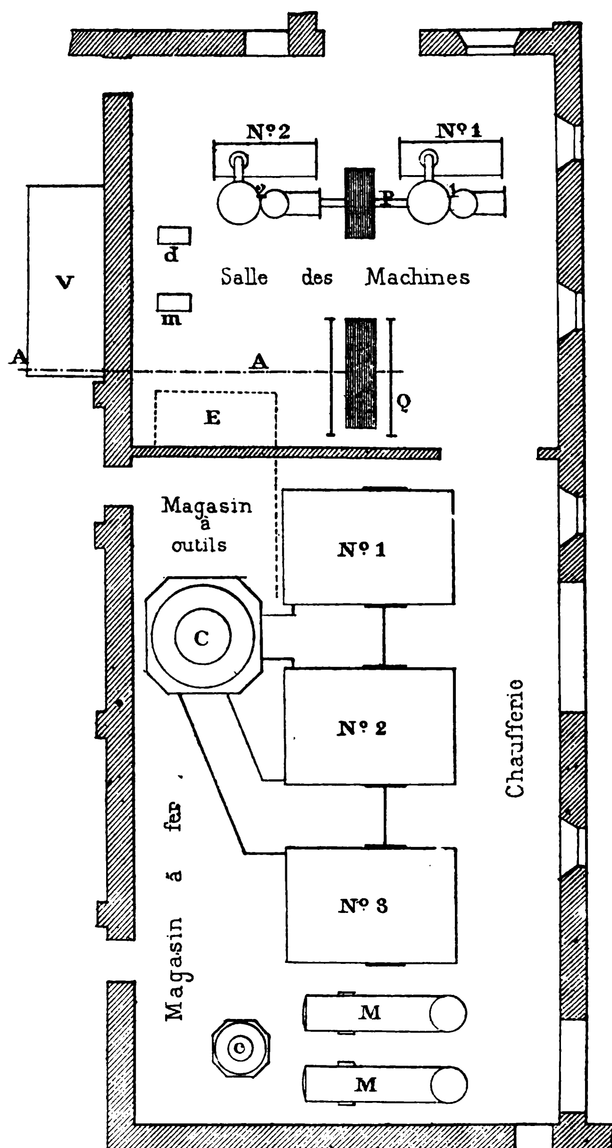

N° 2
N° 1
P
d
m
V
Salle des Machines
A
A
E
Q
Magasin à outils
N° 1
C
N° 2
N° 3
Chaufferie
Magasin à fer
M
M

Fig. 13.

dépôt de charbon; celui-ci fut lui-même réinstallé dans un petit bâtiment construit dans ce but en dehors de l'usine en face de la porte principale de la chaufferie *c* (*fig.* 2).

La machine motrice et les chaudières avaient été fournies à la création de l'usine de la Seyne par la maison Mourraille de Toulon, et elles avaient donné pendant neuf ans toute satisfaction; de plus, cette maison avait conservé la plupart des modèles. Il était donc à prévoir qu'en s'adressant de nouveau à elle, l'administration obtiendrait des conditions de prix avantageuses et un délai de livraison plus court que si elle faisait appel à d'autres constructeurs. Aux termes du marché passé avec elle le 3 mai 1892, la maison Mourraille s'engageait à livrer et installer, dans un délai de six mois et au prix à forfait de 40.800 francs :

1° Une deuxième machine motrice avec sa poulie-volant et sa liaison par les arbres moteurs à la première machine, les deux machines devant pouvoir, à volonté, actionner, séparément ou en même temps, la première ligne d'arbres de l'usine;

2° Une troisième chaudière à corps tubulaire et à deux bouilleurs avec accessoires.

Ces deux appareils devant être exactement conformes à ceux qui avaient fait l'objet du marché de 1881 et les clauses dudit marché étant applicables à la nouvelle fourniture.

De son côté le service devait prendre toutes les dispositions nécessaires pour que les fondations et les assises fussent prêtes au moment où le montage pourrait être entrepris, et l'administration devait faire exécuter à ses frais les travaux de maçonnerie de la nouvelle chaudière et d'établissement d'une nouvelle con-

duite de la fumée dans la grande cheminée desservant les deux chaudières existantes.

Le marché fut approuvé par le Ministre le 23 mai, notifié à la maison Mourraille le 26 du même mois. La nouvelle machine et la troisième chaudière furent prêtes pour les essais à la fin de décembre; mais le retard d'un mois, par rapport aux prévisions du marché, ne fut pas imputable aux constructeurs; il résulta, en effet, de difficultés survenues au cours du montage mené parallèlement avec d'autres travaux dans l'usine, tels que la réfection des lignes d'arbres.

L'installation du carneau de la troisième chaudière présenta certaines difficultés; il fallait la placer dans les mêmes conditions de tirage que les deux chaudières existantes, afin de pouvoir en utiliser deux quelconques à la fois. La position de la cheminée C (*fig.* 13) n'était pas favorable à l'installation d'un nouveau carneau sans obliger la fumée à descendre d'abord au niveau du sol pour venir ensuite déboucher horizontalement dans la cheminée, tandis que les carneaux des chaudières 1 et 2 y débouchaient directement à 2 mètres au-dessus du sol.

M. l'ingénieur Chauvelon, que j'avais chargé de diriger spécialement les travaux de construction proprement dite, étudia la question et présenta une solution consistant à établir le nouveau carneau à la hauteur des anciens en le soutenant par un châssis en fers cornières supporté par des colonnettes en fonte. Cette solution reçut l'approbation de l'administration; elle n'est pas sans présenter une certaine élégance relative par sa grande légèreté qui est cependant loin d'exclure la solidité. Le résultat cherché, quant au tirage des chaudières, fut entièrement obtenu.

La réinstallation des petites chaudières dont les foyers communiquaient primitivement avec la grande cheminée, mais s'allumaient très difficilement en raison de l'existence du siphon formé par le carneau, fut complétée par la construction d'une cheminée spéciale *c* (*fig.* 13), grâce à laquelle les chaudières sont aujourd'hui mises en pression très rapidement.

Lignes d'arbres et transmissions. — A son inauguration, l'usine de la Seyne ne comportant que l'ancienne machine du Mourillon M (*fig.* 14) et deux machines

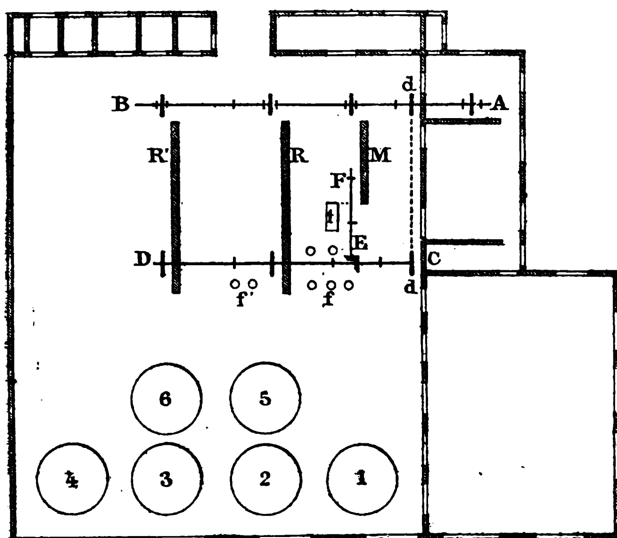


Fig. 14.

anglaises à revêtement R et R', le système de transmissions de force se réduisait à deux arbres principaux : l'un AB commandé par la machine motrice, l'autre CD relié au premier par une transmission télédynamique *dd* et un arbre secondaire EF relié à l'arbre CD par un

engrenage conique. L'arbre AB mettait en mouvement, à l'aide de courroies, les plateaux à fil de jute et à fil de fer, et le système d'entraînement du câble; l'arbre CD actionnait les plateaux à ruban, les cuves à goudron et à composés et les tours à fils de fer *ff'*; enfin l'arbre EF mettait en mouvement les tours à fil de jute *t* et à rubans.

L'installation de deux machines légères entraîna la suppression de la machine M du Mourillon, du reste à peu près inutilisée, et obligea à prolonger les deux lignes d'arbre principales pour actionner la machine n° 4 (*fig.* 15) et un petit arbre supplémentaire D'T

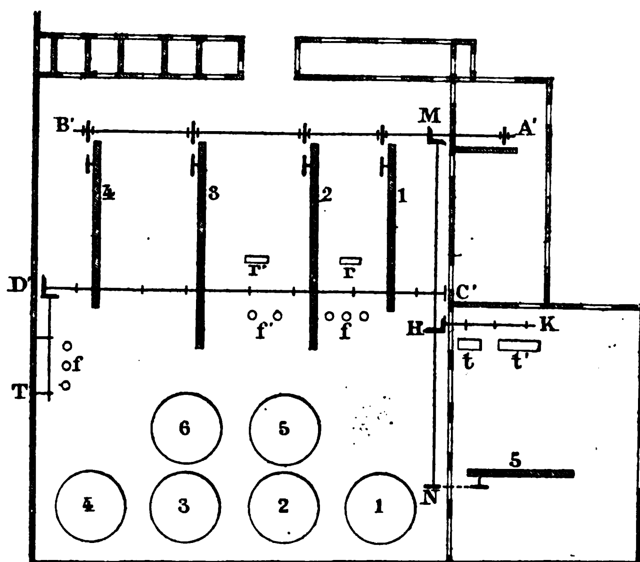


Fig. 15.

destiné à mettre en mouvement les trois nouveaux tours à fil de fer.

Les tours à fil de jute *t* ancien, *t'* nouveau, et la

machine à câbler les âmes étant installés dans la nouvelle partie de l'usine affectée aux machines, la transmission télédynamique *dd* (*fig.* 14) dut être supprimée et remplacée par une ligne d'arbres MN (*fig.* 15) perpendiculaire aux lignes principales et reliée à la ligne A′B′ par un engrenage M. Un second engrenage conique H fut établi pour desservir les tours et en même temps, à l'aide d'une courroie, donner le mouvement à l'arbre C′D′. Enfin, une poulie N fut établie sur l'arbre MN pour commander la machine 5 à câbler les âmes, l'arbre C′D′ mettant directement en mouvement les tours *ff′* à fils de fer et les tours à ruban *rr′*.

Des dispositions plus avantageuses au point de vue d'une dépense de force faite sans utilité pour mettre constamment tout le manège en mouvement auraient été certainement adoptées s'il n'avait fallu, dans un but économique, se borner à prolonger les arbres principaux existants préparés en vue de leur prolongement ultérieur. Mais les prévisions de dépenses furent très sensiblement dépassées, en raison de la nécessité où nous fûmes de remplacer une partie des arbres existants et de déplacer de nombreuses chaises comme conséquence des modifications des vitesses à donner aux arbres et des efforts qu'ils devaient transmettre.

Tuyautage et robinetterie. — L'installation de nouvelles machines entraîna des dépenses considérables pour les pourvoir des tuyaux d'arrosage, d'évacuation et de vapeur.

Il est, en effet, nécessaire de refroidir constamment le câble et de lubrifier certaines parties des machines avec de l'eau; d'autre part il faut, avec la vapeur, maintenir les cuves à composés à une certaine tem-

pérature. On jugera de l'importance du tuyautage et de la robinetterie par celle du crédit prévu, qui s'élevait à 8.000 francs.

La commission spéciale avait affecté une somme de 27.000 francs au travail des lignes d'arbre; un marché unique fut conclu avec la maison Mourraille pour ce travail et celui du tuyautage. Le montant de ce marché fut fixé, à forfait, à la somme de 45.593f,55; mais, pour tenir compte des frais d'études et de modèles déjà faits à l'occasion des travaux similaires de la création de l'usine, les constructeurs consentirent à ce que cette somme fût réduite à 43.650 francs. En outre, la construction des fondations, pour supporter les chaises et divers travaux de maçonnerie ou de charpentage, entraînèrent une dépense de 2.199f,40, d'où une dépense totale de 45.849f,40, dépassant de 10.849f,40 les prévisions.

Compléments divers de réinstallation. — Les machines principales étant en place, les lignes d'arbres prêtes à fonctionner, le tuyautage monté, bien des dépenses peu importantes en elles-mêmes, mais qui ne pouvaient être évitées, restaient encore à faire et constituaient un ensemble élevé. Nous nous bornerons à les énumérer :

achat de deux nouveaux tours à ruban et installation de leur mise en marche;

achat de quatre cuves en tôle à installer en tête des nouvelles machines légères;

achat de trois treuils pour le hissage des bobines de fil de fer;

installation de deux chariots roulants pour amener les bobines au-dessus des plateaux;

installation de voies ferrées pour desservir les nouvelles machines;

achat de courroies de transmissions;

exhaussement des deux cuves à câble 5 et 6.

L'ensemble de ces divers travaux et acquisitions coûta 15.367f,02, en y comprenant le prix des trois nouveaux tours à fil de fer.

Réservoirs pour bobines d'âme. — Les bobines chargées d'âme arrivant des usines qui recouvrent de son isolant le conducteur métallique ne peuvent être immédiatement vidées et l'âme mise dans les cuves en tôle installées en tête des machines à revêtement. Dans le principe elles étaient mises sous l'eau dans les cuves basses en maçonneries 5 et 6 (*fig.* 14); mais l'extension de l'usine obligeant à disposer d'un plus grand nombre de cuves pour recevoir le câble fabriqué, la commission spéciale avait décidé de demander l'exhaussement des cuves 5 et 6. La conséquence de cette mesure était la nécessité de créer un réservoir spécial pour les bobines d'âme.

Le premier projet consistait à installer sous un hangar un bassin rectangulaire pouvant recevoir soixante bobines, soit environ 180 kilomètres de câble; il devait être construit le long du mur du quai de l'usine et mis en communication avec l'eau de mer, de façon à renouveler facilement l'eau.

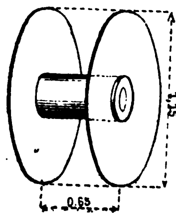


Fig. 16.

Les bobines, que l'on fait reposer sur leurs joues, ont $1^m,15$ de hauteur sur $0^m,65$ de largeur (*fig.* 16); il est nécessaire de laisser entre elles, dans les bassins et sur chaque face, une distance de $0^m,10$

pour rendre leur manœuvre possible, ce qui revient à leur supposer comme dimensions $1^m,20 \times 0^m,70$. Chaque bobine occupe ainsi $0^{m^2},84$ et les soixante bobines prévues : $50^{m^2},40$.

Mais il fallait, en outre, construire des quais autour du bassin et tenir compte de la surface occupée par les murs du hangar, c'est-à-dire disposer d'une superficie de 85 mètres carrés environ. Une étude plus approfondie de la question nous fit apercevoir certains inconvénients à l'installation d'un bassin unique; les mouvements des bobines éloignées du bord du bassin auraient été difficiles, et en cas de manutention d'un petit nombre de bobines, on eût pu être amené à remplir et à vider fréquemment la totalité du bassin. Or, celle de ces deux opérations devant être faite à la pompe était coûteuse et exigeait du temps.

Ces diverses considérations nous firent préférer au bassin unique une succession de petits bassins indépendants (*fig.* 17) les uns des autres, qu'on puisse remplir ou vider séparément, disposition adoptée d'ailleurs dans différentes usines et à laquelle l'administration a donné son assentiment, bien qu'elle entraînât à couvrir une plus grande surface en raison de l'existence des séparations des bassins.

Notre étude en vue de l'exécution, nous amena également à choisir pour l'emplacement à affecter au hangar recouvrant les bassins, une autre partie de la cour de l'usine que celle qui avait été choisie à première vue. Celle-ci était, en effet, la plus éloignée de la tête des machines, c'est-à-dire des cuves en tôle dans lesquelles les âmes doivent être lovées pour la fabrication et aussi de la salle d'expériences placée dans la construction contenant les bureaux B (*fig.* 2). En son-

geant à installer le réservoir à bobines d'âme le plus près possible de la darse, la commission avait eu en vue l'utilisation de l'eau de mer à l'aide d'un simple conduit pour immerger les bobines, mais il eût fallu alors creuser le bassin très profondément au-dessous du sol et la vidange n'eût pu se faire que par épuisement à l'aide d'une pompe mue par la vapeur. Au contraire, en installant les bassins de telle sorte que la vidange ait lieu par simple écoulement à la mer, le remplissage se faisait à l'aide des réservoirs remplis à l'aide de la pompe. La dépense dans les deux solutions était donc la même; seulement, dans la seconde combinaison, les frais de construction devaient être très diminués, étant donné que les bassins n'avaient plus à être construits bien en contre-bas du sol, c'est-à-dire dans la couche d'eau qui existe à $0^{m},60$ ou $0^{m},70$ de profondeur.

C'est ainsi que nous fûmes amené à choisir pour emplacement des réservoirs la partie de la cour de l'usine qui se trouve au S.-O. en avant des bureaux, à proximité de la salle d'expériences et de la tête des machines.

Le projet que nous présentâmes à l'administration et auquel elle donna son approbation a été réalisé et achevé en 1894. Cette installation comporte un hangar éclairé au nord et s'ouvrant à l'ouest D (*fig.* 2) en communication avec l'usine par une voie Dacauville. Le hangar recouvre cinq bassins en maçonnerie et ciment pouvant recevoir chacun dix bobines d'âme; un conduit HH communiquant avec les réservoirs de l'usine permet d'amener à volonté l'eau douce ou l'eau de mer par des bouches établies à la partie supérieure du quai, tandis qu'elle peut s'écouler directement à la

mer par un caniveau latéral EE (*fig.* 17 et 18); de

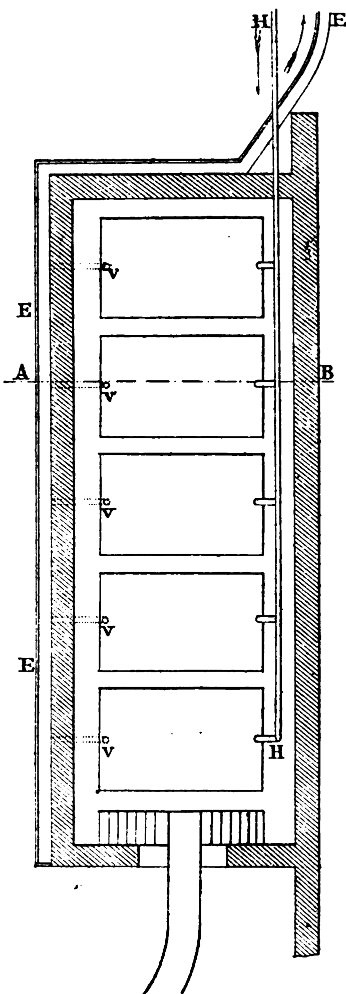
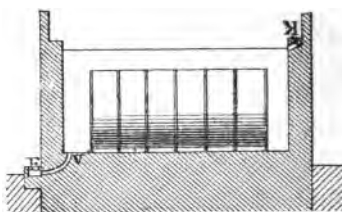


Fig. 17.



Coupe suivant AB

Fig. 18.

petites vannes permettent d'ouvrir ou de fermer à volonté les ouvertures *v* pratiquées dans le fond des bassins.

Un dispositif spécial est agencé pour maintenir au-dessus de l'eau, en vue des essais électriques, les extrémités des âmes. Enfin, les bobines étant très

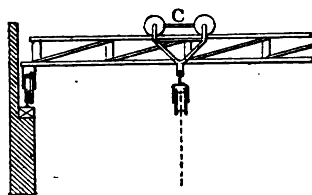


Fig 19.

pesantes, un pont (*fig.* 19) établi à hauteur d'homme par rapport aux quais et roulant sur des galets portés par des rails peut parcourir toute la longueur du han-

gar, tandis qu'un petit chariot *c* peut se déplacer sur le pont lui-même et être ainsi amené au-dessus d'une bobine quelconque. Un palan différentiel suspendu au chariot et une griffe pour saisir les bobines complètent l'outillage du dépôt de bobines d'âme. Cette installation, avec son outillage, a coûté 12.450f,34; un crédit de 9.000 francs avait été réservé à cet effet.

Darse et chenal de l'usine. — Les travaux de l'intérieur de l'usine ont été complétés à l'extérieur par l'achèvement des quais et l'amélioration du chenal spécial à son débouché dans le chenal du port de la Seyne. La *fig.* 2 montre le tracé de l'ancien terre-plein; le quai, à part la cale de halage pour les embarcations, a été construit dans l'intérieur des terres sans avoir, par conséquent, à recourir à l'emploi de batardeaux et il a suffi d'épuiser les eaux d'infiltration. Il ne reste plus pour achever de mettre la darse en état de recevoir un second navire, qu'à enlever ce qui reste de la partie du terre-plein à l'ouest du nouveau quai, travail dont l'achèvement a été remis à plus tard dans un but d'économie.

Près de 8.000 mètres cubes de terre et de roche dure ont été enlevés de l'épi situé au sud-est du chenal.

Les dépenses pour ces travaux se sont élevées à :

Construction du quai est	15.949f,16
Dragages	15.016f,60

Comparaison des dépenses faites et des crédits prévus. — Nous avons dit que la commission chargée d'étudier le mode d'emploi des crédits affectés au développement de l'outillage des câbles sous-marins

avait affecté aux travaux de l'usine une somme de 252.250 francs.

Le total des dépenses faites s'est élevé à la somme de 272.088f,50, se décomposant ainsi :

Travaux préparatoires : démontage de l'ancienne machine à revêtement, réinstallation de l'ancien moteur, tuyautage, etc.	2.240f,94
Deuxième machine motrice, troisième chaudière et montage	11.119 ,25
Assises et maçonneries	8.324 ,71
Dépôt de charbon	4.206 ,29
Déplacement des anciennes chaudières	2.944 ,96
Lignes d'arbres et tuyautage	43.650 ,00
Installation des chaises	2.199 ,40
Machines à revêtement légères	54.520 ,00
Installation des machines légères, frais de douane, transports, etc.	14.792 ,53
Machine à câbler les âmes	21.000 ,00
Installation de cette machine	5.887 ,50
Tour à fil de jute	2 490 ,00
Courroies	1 347 ,85
Cuves en tôle	1.838 ,25
Exhaussement des cuves en maçonnerie	1.890 ,19
Installations complémentaires	10.290 ,73
Réservoirs pour âmes	12 450 ,34
Quai est de la darse	15.949 ,46
Dragage	15.016 ,60
Pour études, missions, personnel de surveillance, solde d'un dessinateur supplémentaire, etc.	9.929 ,50
	272.088f,50

Les crédits alloués ont donc été dépassés de 20.000 francs environ, mais il doit être tenu compte de ce que les évaluations de la commission avaient été faites avant les études qui ont permis l'établissement des devis. D'autre part, dans un remaniement semblable d'une usine, au cours duquel on doit mettre en harmonie les nouvelles installations et les anciennes, on se heurte à tout instant à des difficultés qui n'avaient pu être prévues et dont la conséquence est toujours une augmentation des dépenses par rapport aux prévisions.

L'usine de la Seyne est aujourd'hui complètement

outillée pour fabriquer rapidement un grand câble comme ceux de Marseille en Algérie et comme celui qui vient d'être posé entre Madagascar et le continent africain; pour entreprendre la fabrication d'un câble de 1.800 à 2.000 kilomètres, il faudrait seulement ajouter à son outillage deux nouvelles cuves en maçonnerie et une cuve spéciale pour la fabrication des composés.

La vitesse de production pourrait être pour le câble de grand fond de 18.000 mètres par jour de dix heures de travail; un câble comme ceux de l'Algérie pourrait donc être fabriqué en 67 jours et, dans un cas urgent, en travaillant la nuit et admettant une production de 9.000 mètres pour les heures supplémentaires, sa fabrication n'exigerait pas plus de 45 jours.

La fabrication du câble d'Ajaccio, environ trois fois moins long, avait demandé 95 journées de travail avant l'extension donnée à l'usine; on peut apprécier par la comparaison de ces chiffres l'augmentation de puissance de production de l'usine de l'État.

Pour fabriquer rapidement le câble de Madagascar, les usines de Calais et de Saint-Tropez ont dû se partager le travail, il était donc prudent que l'État pût de lui-même prendre part, au besoin, à la fabrication des câbles sur une grande échelle.

(*A suivre.*)

Ed. Morris.

LA TÉLÉGRAPHIE MULTIPLE

(Suite et fin).

Système télégraphique Baudot. — Enfin, il est un autre système à transmissions multiples qui est utilisé sur les réseaux français et italiens; il imprime les dépêches en caractères typographiques. C'est celui que j'ai combiné.

Les considérations qui viennent d'être développées dans la première partie de cet exposé, relativement aux conditions dans lesquelles peuvent être obtenus des signaux télégraphiques corrects, m'ont guidé dans le choix du Code à utiliser, et m'ont conduit à adopter celui du n° III et à faire usage d'un *courant de repos.* Le tableau n° III *bis* montre comment l'emploi du courant de repos modifie les signaux de ce Code, qui peuvent être transmis sur une ligne télégraphique et reproduits à distance, au moyen des dispositifs élémentaires représentés dans les *fig.* 8 et 9, à la condition toutefois, pour le premier, de relier aux butoirs de repos des cinq leviers transmetteurs L le pôle négatif d'une seconde pile de transmission dont l'autre pôle est mis en communication avec la *terre*, et, pour le second, de faire usage d'électro-aimants munis d'armatures polarisées d'un système quelconque, analogue à celui que représente la

fig. 3 (voir p. 32 et 33); les *fig.* 11 et 12 font voir ces dispositifs ainsi modifiés.

CODE N° III *bis*.

1	+	−	−	−	−
2	−	+	−	−	−
3	−	−	+	−	−
4	−	−	−	+	−
5	−	−	−	−	+
6	+	+	−	−	−
7	+	−	+	−	−
8	+	−	−	+	−
9	+	−	−	−	+
10	−	+	+	−	−
11	−	+	−	+	−
12	−	+	−	−	+
13	−	−	+	+	−
14	−	−	+	−	+
15	−	−	−	+	+
16	+	+	+	−	−
17	+	+	−	+	−
18	+	+	−	−	+
19	+	−	+	+	−
20	+	−	+	−	+
21	+	−	−	+	+
22	−	+	+	+	−
23	−	+	+	−	+
24	−	+	−	+	+
25	−	−	+	+	+
26	+	+	+	+	−
27	+	+	+	−	+
28	+	+	−	+	+
29	+	−	+	+	+
30	−	+	+	+	+
31	+	+	+	+	+
32	−	−	−	−	−

Conservation des signaux. — Admettons provisoirement qu'il soit possible de réaliser la marche synchronique des frotteurs FF sur les divisions métalliques des distributeurs correspondants, et, par suite, d'établir périodiquement par le fil de ligne, des communications momentanées entre leurs divisions symétriques 1, 1′, 2, 2′, 3, 3′, 4, 4′, 5, 5′, et nous pourrons concevoir qu'un signal quelconque du Code III *bis* ayant été préparé dans la station de départ au moyen des cinq leviers L_1, L_2, L_3, ..., et maintenu formé pendant la durée du passage des frotteurs FF sur les divisions du distributeur I reliées à ces leviers, puisse être reproduit dans le poste d'arrivée par les armatures a_1, a_2, a_3, ... des électro-aimants récepteurs. Quoiqu'elle soit provoquée par des émissions de courant relativement brèves, cette reproduction n'est nullement fugitive grâce à l'incapacité, pour les armatures qui ont été réglées en conséquence, de se mouvoir entre leurs butoirs sans y être sollicitées par une influence magné-

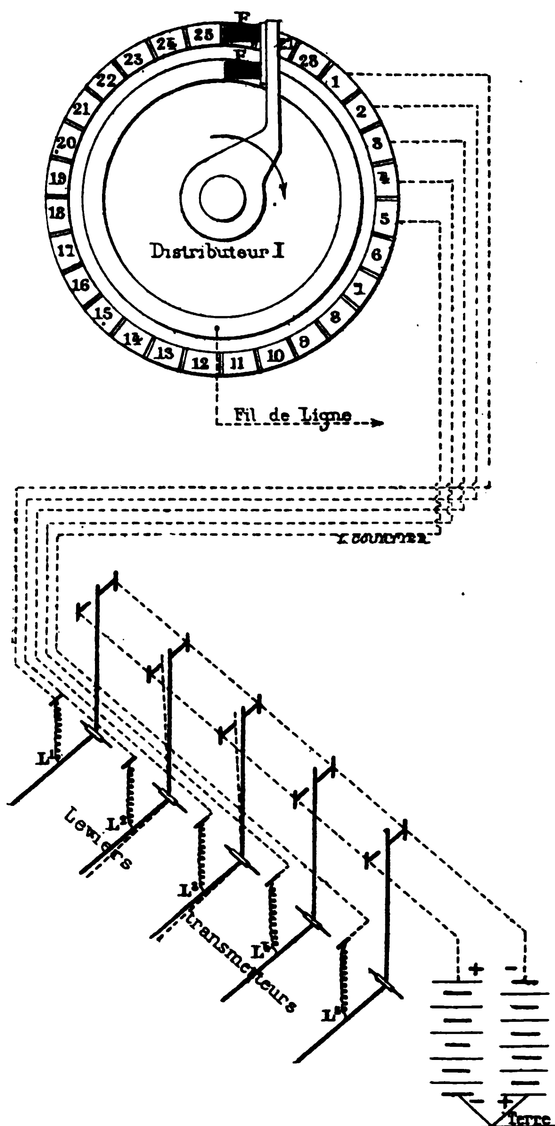


Fig. 11.

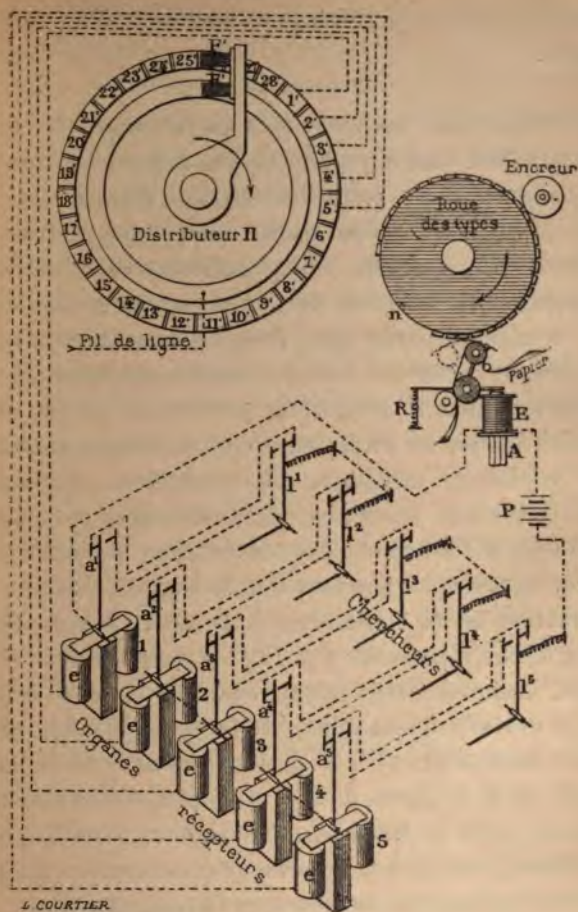


Fig. 12.

tique résultant de l'action d'un courant électrique. Ces armatures ne peuvent donc que s'immobiliser dans les positions qui viennent de leur être données, jusqu'à ce que soit accomplie la révolution entière des frotteurs, c'est-à-dire jusqu'à ce que ces derniers, revenant sur les cinq divisions utilisées de leurs distributeurs res-

pectifs, puisse se prêter à la transmission d'un nouveau signal.

Transmissions multiples par un fil unique. — Cette conservation d'un signal au moyen d'organes distincts, en nombre égal à celui des organes élémentaires qui ont servi à sa préparation, cinq dans le cas du Code III *bis*, constitue une condition très favorable à la solution du problème de la *traduction automatique* de ce signal, parce que la persistance de celui-ci permet de consacrer tout le temps nécessaire à cette opération. Mais il semble au premier abord que cette facilité donnée au travail de traduction doive entraîner une imparfaite utilisation du conducteur, qui après avoir servi à la transmission des éléments d'un signal de l'une à l'autre de ses extrémités, paraît devoir rester sans emploi pendant tout le temps exigé pour la traduction de ce signal dans le poste d'arrivée. Ainsi, dans le cas représenté *fig.* 12, les cinq éléments d'un signal complet étant reçus et emmagasinés en un temps correspondant aux 5/28 de la durée d'une révolution des frotteurs F', F' sur les couronnes du distributeur II, le fil de ligne, dont le concours n'est nullement réclamé pour la *formation* des signaux dans le poste de départ, non plus que pour leur *conservation* et moins encore pour leur *traduction* dans le poste d'arrivée, est par suite inutilisé pendant plus des 4/5 du temps total affecté au travail télégraphique. Mais l'idée de faire servir ce conducteur, — pendant cette longue période de disponibilité, — à la transmission d'autres éléments de signaux, est naturellement suggérée par cette constatation, et aussi par l'examen des *fig.* 11 et 12, qui fait immédiatement comprendre la possibilité de créer un

système télégraphique à transmissions multiples, et indique même le moyen à employer dans ce but. Il consiste à relier électriquement un nouveau groupe de cinq leviers transmetteurs aux cinq premières divisions disponibles du distributeur I, en même temps qu'un nouveau groupe d'électro-aimants récepteurs aux cinq divisions disponibles correspondantes du distributeur II, et à continuer ainsi tant qu'il peut être formé de secteurs de cinq divisions sur les distributeurs. Ceux des *fig.* 11 et 12 se prêteraient ainsi à la formation de cinq secteurs, et par conséquent à la transmission de cinq signaux distincts en une révolution de leurs frotteurs.

Dans ces conditions, le même fil de ligne peut être utilisé pour la transmission *simultanée* de cinq correspondances distinctes dont les signaux, après avoir été préparés par des opérateurs différents sur cinq groupes de leviers transmetteurs, sont successivement transmis au départ et reçus à l'arrivée par l'intermédiaire des mêmes distributeurs, puis emmagasinés et respectivement traduits par cinq appareils distincts appropriés.

Ces conditions sont précisément celles dans lesquelles a été réalisée le type primitif de mon télégraphe à quintuple transmission.

Combinateurs électriques. — J'ai dit tout à l'heure que la conservation des positions prises par les armatures des électro-aimants récepteurs, lors de la réception d'un signal au poste d'arrivée, était favorable à la solution du problème de la traduction automatique dudit signal. J'ajoute que c'est grâce à cette persistance dans la manifestation de chacun des éléments de signaux, que j'ai pu créer un système *traducteur* réellement pratique.

La partie principale de cet appareil est connue sous le nom de *combinateur ;* son rôle consiste à transformer un signal conventionnel complexe, immobilisé comme il vient d'être dit, en un signal simple empruntant une signification convenue et précise, soit au *point où se produit son apparition*, soit au *moment où il se manifeste.*

Nous n'aurons à nous occuper ici que du mode de différenciation des signaux simples fournis par le combinateur, qui comporte l'appréciation du *moment* où chacun d'eux se manifeste. D'ailleurs, il n'y a pas lieu de décrire ici tous les types de combinateurs que, pour des raisons exposées au début de la présente communication, j'ai réalisés et utilisés à diverses époques, non plus que les nombreux dispositifs que j'ai étudiés dans le même but, mais qui n'ont pas été mis en pratique. Il nous suffira d'en comprendre l'idée fondamentale et de la suivre à travers quelques-unes des formes variées qui lui ont été données.

La *fig.* 12 fait voir les organes du poste récepteur reproduisant et conservant le signal complexe formé au poste de départ ; ce sont les armatures polarisées a_1, a_2, a_3, ... des cinq électro-aimants récepteurs e^1, e^2, ..., soumis à l'action des courants venant de la ligne ; leur fonctionnement consiste simplement en une légère oscillation qui les met en contact avec l'un ou l'autre de leurs deux butoirs.

Dans le travail à accomplir en vue de la traduction du signal qu'elles ont reçu et qu'elles conservent, ces armatures n'ont pas de rôle actif, leur influence sur le résultat à obtenir étant simplement due à une action de présence, et dépendant uniquement des positions qu'elles occupent par rapport à leurs butoirs. C'est

pour ce motif que M. le comte du Moncel les désignait, avec raison, sous le nom d'*organes d'attente.*

A côté des appareils récepteurs, la *fig.* 12 montre une nouvelle série de cinq leviers l^1, l^2, l^3, l^4, l^5, dont chacun est susceptible d'osciller entre deux butoirs, comme les leviers transformateurs du poste de départ et les armatures du poste récepteur. La fonction de ces nouveaux organes, qui constituent les élements d'un *combinateur*, consiste *à former successivement, en un temps relativement court et dans un ordre convenu, les trente et un signaux du Code III bis;* cette formation pouvant d'ailleurs être effectuée soit directement par les mains mêmes d'un opérateur, soit à l'aide d'un mécanisme automatique quelconque.

La reproduction du signal complexe, reçu et conservé par les armatures, est ainsi sûrement effectuée *à un moment déterminé correspondant à ce signal, et dépendant du rang qu'il occupe dans l'ordre de formation adopté.* Il s'agit alors de mettre en évidence, par un phénomène quelconque, et à l'instant même où elle se produit, la *similitude des positions* occupées entre leurs butoirs par les armatures d'une part, pour permettre de préciser, à l'aide d'un signal simple, la signification du signal complexe à traduire. Or, l'examen des communications électriques représentées dans la *fig.* 12 fait voir que cette reproduction, par les leviers-combinateurs, du signal emmagasiné par les organes récepteurs, peut être accusée par le fonctionnement de l'armature de l'électro-aimant E, résultant de la fermeture du circuit de la pile P à travers le fil des bobines de celui-ci, puisque ce circuit ne peut être fermé qu'à la condition de faire entrer simultanément les cinq armatures et les cinq leviers dans sa consti-

tution, et que cette condition ne peut être remplie que par la *similitude des positions* respectives données à ces organes.

Cherchant parmi toutes les combinaisons possibles, celle qui forme le signal emmagasiné dans les *organes d'attente*, les leviers l^1, l^2, l^3, l^4, l^5 ont été désignés sous le nom significatif de *chercheurs*.

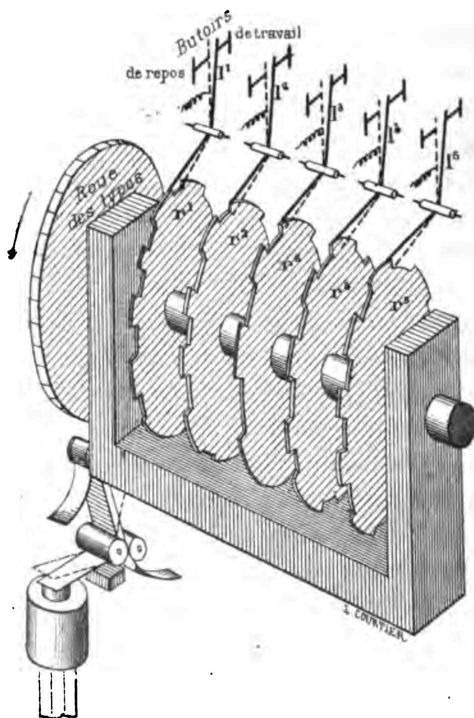


Fig. 13.

Nous venons de dire qu'ils peuvent être manœuvrés au moyen d'un mécanisme quelconque ; il en a été fait de divers modèles, parmi lesquels celui que représente la *fig.* 13 se prête le mieux à une démonstration.

Dans ce dispositif, les cinq chercheurs sont constitués respectivement par les leviers l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, et chacun d'eux est soumis, à l'action de cames convenablement réparties sur la circonférence d'une roue animée d'un mouvement de rotation. Le développement de l'ensemble des cinq roues $r_1, r_2, \ldots$, commandant respectivement les cinq leviers $l^1, l^2, l^3, \ldots$, est représenté dans la *fig.* 14 par cinq rangées verticales sur lesquelles les parties pleines sont figurées par des hachures et les parties entaillées par des espaces blancs. Par le fait de son passage sur des parties pleines, chacun des chercheurs est poussé au contact de son butoir de travail malgré le ressort qui tend à l'en éloigner, tandis qu'en passant sur des parties évidées il peut céder à cette attraction de son ressort qui le ramène au contact de son butoir de repos. C'est ainsi que peuvent être successivement formés, en une révolution des roues $r_1, r_2, \ldots$, les 31 signaux du Code III *bis*.

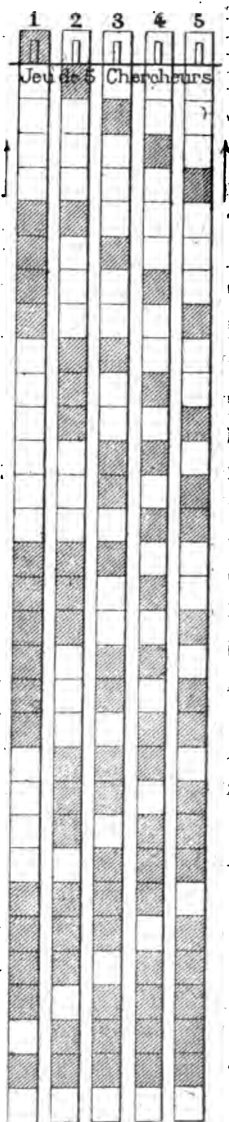


Fig. 14.

Impression de la lettre que représentait le signal complexe traduit. — Complété par l'adjonction d'un

mécanisme imprimeur du genre de celui que représente la *fig.* 6, le dispositif de la *fig.* 12 peut servir à réaliser un *système traducteur* complet, à la condition que les 31 caractères de la roue des types passent successivement devant la bande de papier dans le même temps et dans le même ordre que sont formés, par les leviers l^1, l^2, ..., les signaux complexes destinés à les représenter. Mais il convient de tenir compte du fait que le travail de traduction, ne pouvant commencer qu'après la formation complète du signal reçu et l'immobilisation des organes d'attente, et devant être terminé d'autre part, avant le déplacement de ces derniers sous l'action d'un nouveau signal reçu, doit être entièrement accompli pendant le temps que mettent les frotteurs des distributeurs à parcourir les divisions de ceux-ci, qui se trouvent en dehors du secteur utilisé pour la réception des signaux. Cette condition est remplie, si les entailles pratiquées sur le pourtour des roues, et les caractères typographiques gravés sur la roue des types, sont répartis de façon à n'occuper que les trois quarts de leurs circonférences respectives. L'axe de ces roues doit alors être animé de la même vitesse de rotation que les frotteurs des distributeurs.

Grâce à l'aimant permanent A qui polarise ses noyaux, l'électro-aimant E attire et retient son armature, malgré la tension d'un ressort R qui tend à soulever celle-ci sans pouvoir y parvenir. Toutefois ce soulèvement peut être provoqué par le passage d'un courant électrique de sens convenable dans le circuit de cet électro-aimant, déterminant un affaiblissement momentané de la polarité de ses noyaux. Le soulèvement de l'armature sur l'axe de laquelle est monté un bras supportant une bande de papier, a pour effet de

mettre instantanément celle-ci en contact avec la circonférence de la roue des types et de provoquer ainsi l'impression du caractère passant à cet instant. Ensuite, et pendant que s'achève la révolution de cette roue des types dont tous les caractères ont défilé devant le papier, une came, agissant par l'intermédiaire d'un levier sur l'armature et de son bras d'impression les ramène dans leur position de repos.

Modèles de combinateurs électriques utilisés dans les appareils Baudot à l'Exposition de 1878. — Parmi les quelques types de combinateurs qu'utilisaient en 1878 les appareils de mon système figurant à l'Exposition universelle internationale de Paris, il y en avait un (*), à cames et leviers, qui avait beaucoup d'analogie avec celui que représente la *fig.* 12. D'autres différaient de ce modèle, mais seulement au point de vue de la forme.

Montés sur un bras qu'entraînait un axe animé d'un mouvement de rotation, les cinq chercheurs, sous la forme de ressorts flexibles ou de balais métalliques, glissaient respectivement sur cinq couronnes parallèles formées individuellement par des secteurs en bronze, et formant dans leur ensemble un bloc cylindrique. Le développement de ces cinq couronnes n'était autre, en principe, que celui que fait voir la *fig.* 14; les secteurs figurés par des divisions en blanc de chaque rangée étaient réunis électriquement au butoir de repos de l'organe d'attente correspondant à la couronne considérée, tandis que les secteurs figurés par les divisions ombrées étaient ensemble réunis au butoir de travail du même organe. Les autres communications électri-

(*) *Annales télégraphiques*, t. VI, 1879, p. 381. (N. D. L. R.).

ques et le système d'impression ne différaient guère du dispositif représenté *fig.* 12.

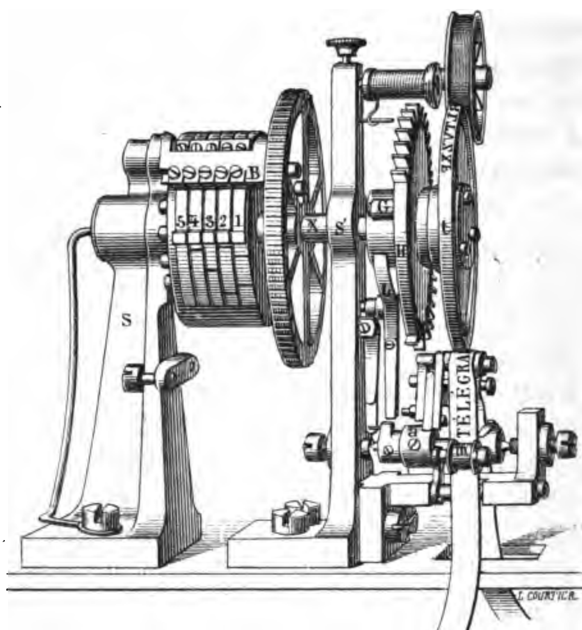


Fig. 15.

La *fig.* 15 est une vue exacte de cette partie des appareils Baudot qui ont figuré à l'Exposition de 1878.

Observations relatives aux rôles respectifs des organes d'attente et des chercheurs. — Revenons maintenant un peu en arrière, et examinons de quelle manière peut influer le déplacement d'une armature entre ses butoirs, sur le rôle que remplit le chercheur correspondant du combinateur, pendant la formation par celui-ci des 31 combinaisons du Code.

La répartition indiquée dans la *fig.* 14, des saillies

et des encoches garnissant le pourtour des roues de la *fig.* 13, permet de constater que les divisions occupées par des saillies sont en nombre égal à celles qui sont occupées par des encoches. Il en résulte que la formation successive de 32 signaux distincts — y compris le signal formé par les cinq leviers quand ceux-ci sont dans leur position de repos — a pour effet de maintenir chacun des chercheurs en contact avec l'un et l'autre de ses butoirs pendant des temps égaux. Chacun de ces chercheurs se trouve par conséquent mis, pendant *la moitié du temps*, en communication électrique avec l'armature qui lui fait face (*fig.* 12), cette moitié du temps correspondant au passage devant lui, soit des seize divisions de la roue garnie de saillies, soit des seize divisions évidées, suivant que l'armature se trouve au contact de son butoir de travail ou de son butoir de repos.

On doit donc déduire de ces constatations que le déplacement d'un organe d'attente entre ses butoirs a pour effet *d'inverser les fonctions du chercheur* qui lui correspond; et on peut, d'après cela, se demander s'il ne serait pas possible de réaliser un combinateur plus simple, en demandant aux organes récepteurs d'effectuer *mécaniquement* cette inversion des fonctions des chercheurs. Le résultat cherché serait évidemment atteint si le fonctionnement d'un organe récepteur avait pour effet de substituer, sur le pourtour de la roue qui doit commander la manœuvre du chercheur correspondant, les parties en saillie aux parties évidées, et réciproquement; mais une substitution de ce genre serait probablement difficile à obtenir.

Le but cherché pourrait être atteint au moyen d'un

dispositif tel que celui que fait comprendre la *fig.* 16.

A chaque roue commandant un chercheur en serait accolée une seconde portant des saillies et des enco-

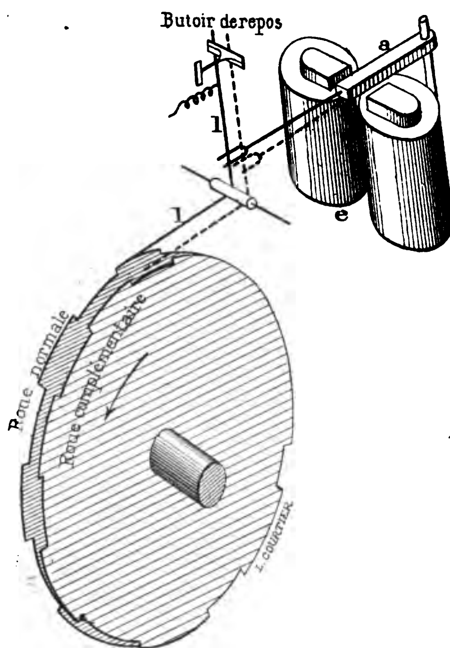


Fig. 16.

ches inversement disposées par rapport à la première, et le rôle de l'organe récepteur consisterait à mettre son chercheur en prise, soit avec le pourtour de [la roue normale, soit avec celui de la roue complémentaire.

On peut se rendre compte de la formation du circuit de la pile P dans un combinateur de ce genre, au moyen du schéma (*fig.* 17), montrant que le circuit de cette pile ne peut être fermé à travers l'électro-aimant E que si les cinq chercheurs se trouvent simul-

tanément en contact avec leurs butoirs respectifs; et comme, dans cette nouvelle disposition, chaque chercher n'a plus qu'un butoir — celui de repos — on doit

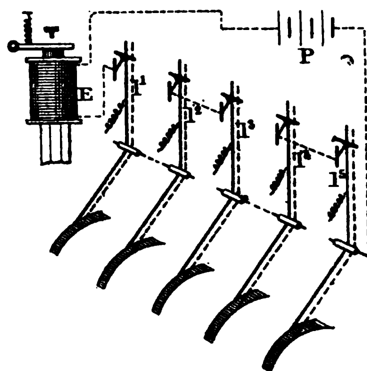


Fig. 17.

en conclure que le signal d'impression ne peut se produire qu'au moment, *unique dans une révolution des roues*, où les cinq chercheurs se trouvent au-dessus de parties évidées de celles-ci. Ce moment correspond d'ailleurs à celui où ces chercheurs auraient reproduit le signal à traduire s'ils avaient été commandés tous par leurs roues normales.

Combinateurs mécaniques. — Dans ces conditions, l'idée de supprimer entièrement l'emploi d'organes électriques quelconques dans les opérations de traduction et d'impression se présente naturellement à l'esprit, puisqu'on dispose désormais d'un mouvement mécanique — la chute simultanée des cinq chercheurs dans les encoches des roues du combinateur — pour provoquer le soulèvement du bras d'impression et projeter le papier sur le caractère de la roue des types à imprimer.

Il suffit, en effet, pour utiliser cette chute simultanée des cinq chercheurs en vue du résultat à atteindre, de *rendre ceux-ci solidaires pour tout mouvement oscillatoire* autour d'un axe unique, tout en laissant à chacun d'eux *une indépendance complète pour tout déplacement latéral* destiné à le mettre en prise avec l'une ou l'autre de ses deux roues. Ces conditions sont remplies par le dispositif représenté (*fig.* 18) qui montre

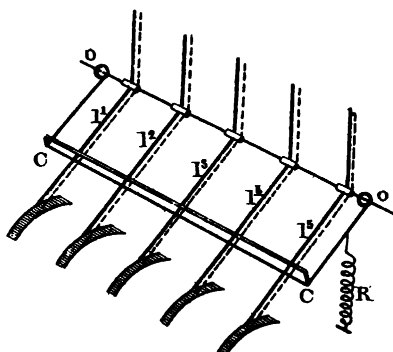


Fig. 18.

les cinq chercheurs emprisonnés, mais non serrés, entre deux guides horizontaux formant l'un des côtés du cadre rectangulaire CC. Celui-ci pivote en *oo* et est sollicité à s'abaisser par un ressort R, à qui il ne peut céder d'ailleurs que si ses chercheurs perdent *simultanément tous leurs points d'appui* sur le pourtour des roues. Or, nous savons que cet effet ne peut se produire qu'une fois par révolution de celles-ci.

Sans insister sur les moyens mécaniques à combiner dans ce but, on conçoit que le mouvement d'abaissement du cadre CC puisse être utilisé pour mettre en liberté le bras d'impression.

Modèle du combinateur du récepteur double de l'Exposition de 1881. — Rappelons à ce propos que les appareils Baudot qui ont figuré à l'Exposition d'électricité de Paris en 1881 faisaient usage de combinateurs mécaniques basés sur ce principe. Seulement, ici les chercheurs formaient un groupe qui se déplaçait circulairement au-dessus des dix voies concentriques pratiquées dans un plateau horizontal en acier. Normalement, c'est-à-dire quand l'appareil n'avait aucun signal à traduire, chacun des cinq chercheurs suivait une voie dans laquelle il trouvait une succession de saillies et de vides, analogue en principe à celle qu'indique la *fig.* 14. Montés dans un cadre qui les rendait solidaires pour tout mouvement d'abaissement ou de soulèvement, les cinq chercheurs étaient toutefois indépendants les uns des autres pour tout déplacement dans le sens horizontal. Ils en profitaient, en un certain point de leur révolution, pour s'engager, quand ils y étaient sollicités, dans une voie parallèle où les saillies et les vides étaient inversement répartis par rapport à leurs voies normales respectives. Ce déplacement latéral de chacun des chercheurs était produit par une sorte d'aiguillage ayant une certaine analogie avec celui qui est utilisé dans les chemins de fer.

Placé à l'entrée des deux voies complémentaires offertes à chaque chercheur, un bloc mobile en forme de coin avait pour mission de faire dévier celui-ci lors de son passage en cet endroit et de l'obliger à s'engager dans l'une ou l'autre de ses deux voies, suivant que l'organe récepteur commandant ce coin mobile ou *aiguille* avait lui-même été commandé par un élément de signal positif ou négatif. On voit que, dans ce sys-

tème, les organes d'attente ne remplissaient pas, comme dans les types de combinateurs dont nous nous sommes occupé jusqu'ici, les fonctions d'*organes d'attente;* leur rôle se bornait à placer convenablement les cinq *aiguilles* destinées à la manœuvre des chercheurs, après quoi ils revenaient dans leur position de repos. Les organes d'attente étaient représentés par ces *aiguilles* qui conservaient leurs positions respectives jusque après le passage des chercheurs et l'arrivée d'un nouveau signal. Cette indépendance des *organes récepteurs* et *d'attente* présentait des avantages que nous aurons occasion d'apprécier par la suite, et constituait un perfectionnement sérieux du système.

Le mouvement oscillatoire du cadre des chercheurs, lorsque ceux-ci trouvaient simultanément des encoches dans leurs chemins respectifs, était transmis au mécanisme imprimeur par l'intermédiaire d'un système de leviers articulés, provoquant ainsi la mise en contact d'une bande de papier avec un caractère préalablement encré que présentait à cet instant une roue des types tournant d'accord avec l'axe qui entraînait les chercheurs.

Le plateau à cames avec ses dix voies concentriques, de même que ses cinq aiguilles avec les cinq organes récepteurs chargés de leur manœuvre, avaient pu être utilisés pour *effectuer en même temps la traduction de deux signaux différents et l'impression de deux lettres distinctes* résultant de cette traduction. Ce résultat avait été obtenu par l'adjonction à l'appareil dont il vient d'être question d'un second jeu de chercheurs encadrés, disposé diamétralement par rapport au premier, et d'un second mécanisme d'impression commandé par ce second jeu.

Cette double fonction avait fait donner à cet appareil traducteur le nom de *récepteur double*. Il a figuré à l'Exposition de 1881 sous la forme que représente la *fig.* 19.

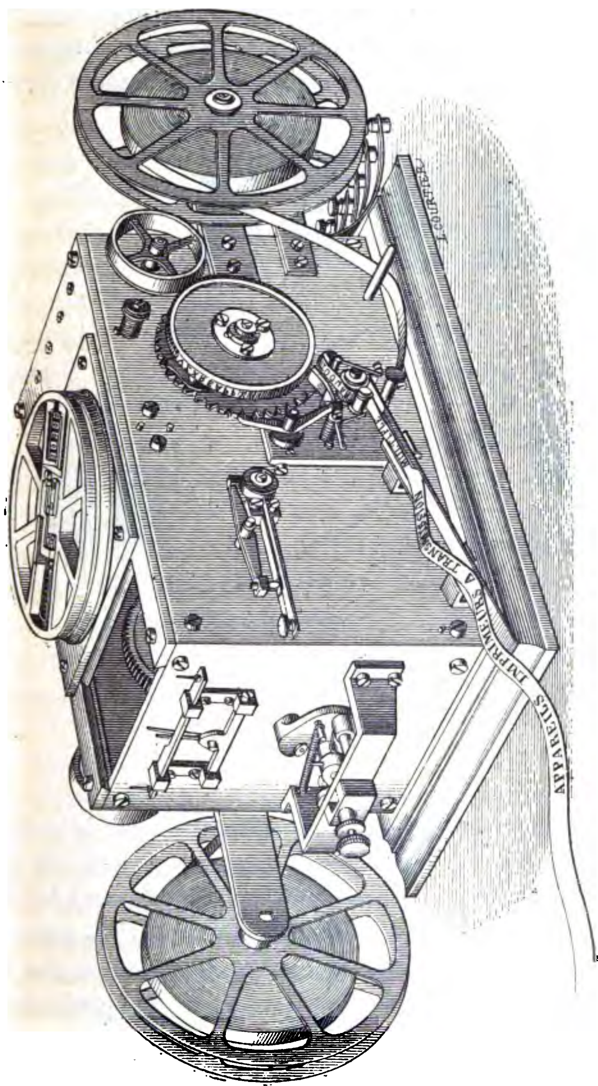


Fig. 19.

Avantages du concours d'un relais pour la réception des éléments de signaux. — Au sujet des combinateurs mécaniques, il y a lieu de faire remarquer que la manœuvre des organes d'attente entraîne une dépense d'énergie qui, sans être exagérée, est certainement supérieure à celle qu'exigeaient les combinateurs élec-

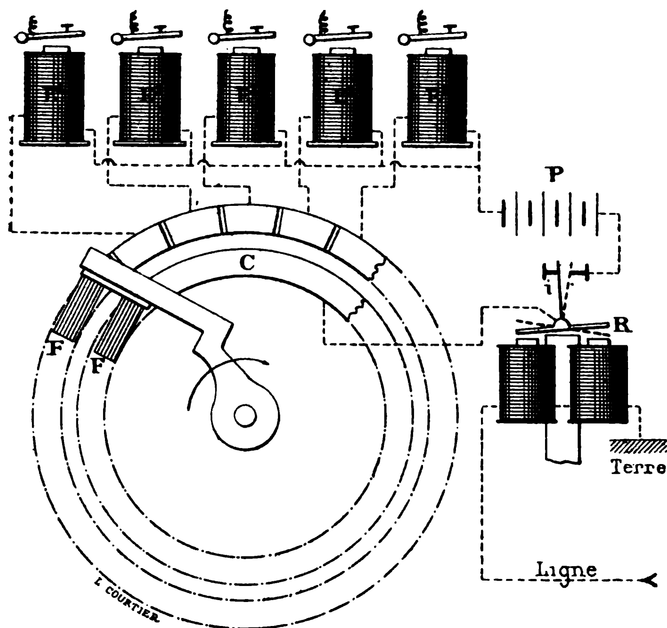


Fig. 19 *bis*.

triques. Or l'énergie électrique fournie par le poste transmetteur et transmise à travers un long fil de ligne jusqu'au poste récepteur est généralement faible et se traduit le plus souvent par un travail mécanique insignifiant. A ce point de vue, il semble donc que le système électrique de combinateur eût été préférable au système mécanique. Mais cette difficulté peut être

surmontée par un procédé connu, qui consiste à utiliser les faibles mouvements produits par les courants venant de la ligne, pour diriger le courant d'une source électrique locale vers des organes récepteurs chargés respectivement de la reproduction des éléments de signaux dans le poste d'arrivée. La *fig.* 19 *bis* fait voir comment, dans ces conditions, seraient reçus les éléments de signaux du Code n° III *bis*.

L'électro-aimant R, disposé pour recevoir toutes les émissions de courant qui parviennent au poste récepteur, traduit leur passage par des déplacements successifs de l'index *i* entre ses deux butoirs, lesquels ont pour effet de diriger les courants émanant de la pile P, vers la couronne C du distributeur d'abord, et ensuite aux électro-aimants récepteurs E^1, E^2, ..., par l'intermédiaire des frotteurs FF. Ces électro-aimants sont ainsi actionnés par une source électrique relativement puissante qui leur permet de développer le travail nécessaire à la manœuvre des organes d'attente d'un combinateur mécanique.

On donne à l'électo-aimant R, qui peut fonctionner sous l'influence de courants affaiblis, en réexpédiant des courants puissants, le nom de *relais*.

Combinateur mécanique du modèle adopté dans les appareils Baudot actuels (*type* 1882). — Nous arrivons enfin au type actuel de combinateur qui, d'ailleurs, existe depuis douze ans.

Pour tous les genres de combinateurs dont il vient d'être parlé, on conçoit que l'ordre dans lequel étaient formés successivement les trente et un signaux pouvait être quelconque, à la seule condition que ceux-ci fussent effectués au fur et à mesure du passage, devant la bande

CODE N° VII (BAUDOT).
31 signaux complexes groupés dans un ordre spécial.
Courant de repos. 5 moments.

A	+	−	−	−	−
E	−	+	−	−	−
Y	−	−	+	−	−
J	+	−	−	+	−
X	−	+	−	−	+
U	+	−	+	−	−
G	−	+	−	+	−
T	+	−	+	−	+
H	+	+	−	+	−
W	−	+	+	−	+
C	+	−	+	+	−
M	−	+	−	+	+
S	−	−	+	−	+
□	−	−	−	+	−
t	+	−	−	−	+
É	+	+	−	−	−
I	−	+	+	−	−
B	−	−	+	+	−
K	+	−	−	+	+
Z	+	+	−	−	+
O	+	+	+	−	−
D	+	+	+	+	−
P	+	+	+	+	+
N	−	+	+	+	+
Q	+	−	+	+	+
L	+	+	−	+	+
V	+	+	+	−	+
F	−	+	+	+	−
R	−	−	+	+	+
!	−	−	−	+	+
□	−	−	−	−	+

de papier, des trente et un caractères correspondants de la roue des types.

Toutefois, au point de vue de la construction, il pouvait y avoir intérêt à trouver, parmi les *milliards d'arrangements* possibles auxquels peuvent donner lieu 31 objets ($1 \times 2 \times 3 \times 4 \times \ldots \times 31$), un ordre qui permît de répartir les saillies et les vides *de la même façon dans chacune des cinq voies* circulaires d'un combinateur.

Pour ces recherches et beaucoup d'autres, j'ai été efficacement aidé par M. Cartier, ingénieur, chef des études des ateliers Carpentier, dont l'ingéniosité et la modestie sont bien connues de tous les inventeurs qui l'ont eu comme collaborateur. L'ordre des signaux du Code n° VII fut trouvé; il répondait au *desideratum* indiqué.

L'examen de ce Code fait bien voir que chacune de ses cinq rangées verticales est semblable à sa voisine au point de vue de la répartition des signes + et —, mais que leurs points d'origine respectifs sont échelonnés à des distances égales à une division. On conçoit qu'un combinateur préparé d'après ce Tableau-Code VII, en faisant

usage de la méthode suivie pour la préparation du développement (*fig.* 14) d'après le Code III *bis*, puisse donner des résultats identiques à ceux que donnait le dispositif de la *fig.* 13. Mais, en observant son fonctionnement, on peut se rendre compte que, pendant la durée d'une révolution complète des voies circulaires au-dessous des chercheurs, ou de ceux-ci sur les premières, suivant la disposition adoptée, chacun de ces chercheurs se trouve toujours, à un moment quelconque, sur une partie vide ou pleine de sa voie, identique à celle où

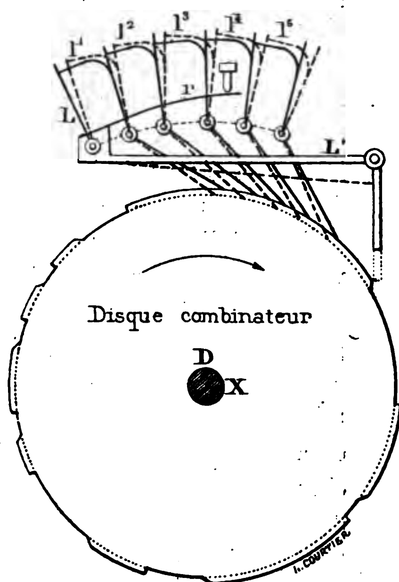


Fig. 20.

s'était trouvé son voisin de gauche, alors que celui-ci occupait dans sa propre voie la divison précédente. Comme conséquence naturelle de cette observation, on comprend qu'il soit possible de réduire les cinq voies à

une seule, à la condition de faire parcourir celle-ci successivement par les cinq chercheurs disposés en file et séparés les uns des autres par des intervalles équivalant à une division de la voie. Cette combinaison est schématiquement représentée dans la *fig.* 20, qui fait voir que, pendant une révolution du disque D faisant successivement passer toutes les divisions vides ou pleines garnissant le pourtour de celui-ci, au-dessous des cinq chercheurs disposés en file à une distance convenable les uns des autres, l'ensemble de ces cinq chercheurs se trouve successivement au-dessus de trente et une combinaisons distinctes de divisions vides et pleines.

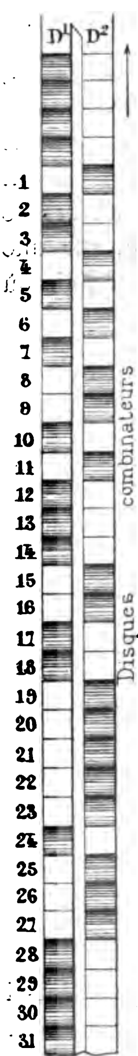


Fig. 21.

Réalisé d'après ces données, le nouveau combinateur devait être complété par l'adaptation, sur le disque dont le pourtour constitue une voie normale, d'un deuxième disque inversement entaillé par rapport au premier (*fig.* 21), et aussi en assurant la solidarité des cinq chercheurs pour tout mouvement de bascule, tout en permettant le transfert de l'un ou plusieurs d'entre eux dans le plan du disque complémentaire, sous l'action des organes récepteurs. Cette seconde condition peut être remplie par un dispositif représenté dans les *fig.* 20 et 22, et consistant à munir la partie supérieure de chaque chercheur, d'un appen-

dice arrivant jusqu'au contact de son voisin, assez large d'ailleurs, pour que le point d'appui, offert par celui de droite à celui de gauche, ne puisse manquer

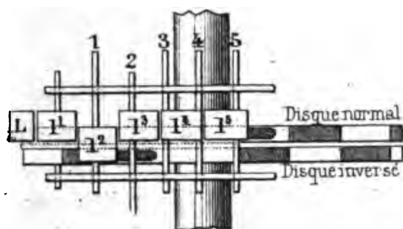


Fig. 22.

alors même que chacun d'eux se trouverait respectivement en prise avec les deux voies constituées par la circonférence des deux disques voisins.

De cette façon, les leviers L et L', quoique constamment sollicités à s'incliner sous la pression du ressort *r* (*fig.* 20), ne peuvent le faire qu'en compagnie du jeu entier des chercheurs. Mais nous savons que, si un ou plusieurs de ceux-ci ont été mis en prise avec leur disque complémentaire, il y aura un point de la révolution du combinateur où tous perdront simultanément tout point d'appui sous leurs extrémités inférieures, et il en résultera un mouvement de bascule de leur ensemble. L'abaissement du levier L' ainsi obtenu peut facilement être utilisé pour commander le fonctionnement d'un mécanisme imprimeur analogue à celui dont nous avons déjà parlé.

E. BAUDOT.

MESURE DE LA CONSTANTE DIÉLECTRIQUE

Le pouvoir inducteur d'un diélectrique peut se déterminer facilement en plaçant une lame de ce corps entre deux plateaux parallèles, reliés aux deux pôles d'une source d'électricité, et dont l'un est rendu mobile, pour permettre de mesurer l'attraction qui s'exerce entre eux, soit quand ils sont plongés dans l'air, soit lorsqu'ils sont séparés par la plaque isolante.

On sait que le rapport des attractions, dans ces deux cas, est représenté par la formule :

$$(1) \qquad \frac{F}{F'} = \left(\frac{e + e'}{\frac{e}{k} + e'}\right)^2,$$

en appelant F′ l'attraction des deux plateaux à la distance $e + e'$ dans l'air et F l'attraction à la même distance lorsqu'on a placé entre les plateaux une lame isolante à faces parallèles d'épaisseur e; e' représente donc la somme des épaisseurs d'air situées de part et d'autre de cette lame; k est la constante diélectrique de la plaque.

J'ai d'abord cherché à vérifier cette formule : pour cela, je me sers de deux plateaux horizontaux et d'une balance de précision, dont le fléau porte, à une extrémité, un plateau ordinaire pour recevoir des poids, à l'autre bout, le plateau mobile de l'appareil électrique, supporté par une tige d'ébonite. Ce plateau, qui a

12 centimètres de diamètre, est entouré d'un anneau de garde, muni d'une sorte de couvercle qui recouvre le plateau et qui est seulement percé d'un trou pour laisser passer la tige isolante. L'anneau de garde est rattaché, par trois tiges verticales filetées, à un plateau de laiton placé tout au haut de la cage de la balance. Ce plateau peut subir un léger déplacement dans tous les sens et la longueur des tiges peut être réglée au moyen d'écrous; on peut ainsi amener l'anneau de garde dans le plan du plateau mobile et le centrer exactement.

Le plateau fixe, qui a 19 centimètres de diamètre, est placé au-dessous du premier, à une distance variable; un support à trois vis calantes permet de régler le parallélisme. Ce support est traversé par trois tiges d'ébonite qui soutiennent le diélectrique; elles sont maintenues par des vis de serrage, de sorte qu'on peut les élever ou les abaisser pour rendre la lame isolante bien parallèle aux plateaux. De part et d'autre de cette lame, on laisse des épaisseurs d'air aussi faibles que possible; on est cependant obligé de réserver au-dessus un petit espace pour les oscillations du plateau mobile.

La cage ordinaire de la balance a été divisée en deux parties par une cloison verticale, perpendiculaire au fléau, qui sépare l'appareil électrique du plateau destiné à recevoir les poids. La première partie de la cage renferme des matières desséchantes.

La source d'électricité est une bobine de Ruhmkorff, donnant environ 15 millimètres d'étincelle et actionnée par 6 éléments Bunsen; l'un des pôles de la bobine communique avec le plateau fixe et avec l'armature intérieure d'une jarre dont la capacité est, suivant les

cas, 70 à 150 fois plus grande que celle du condensateur formé par les plateaux. L'autre pôle, l'armature extérieure de la jarre, le plateau mobile et le fléau de la balance sont reliés au sol. Je me suis assuré que les résultats ne varient pas, soit lorsqu'on intervertit les communications des deux plateaux, soit lorsqu'on supprime la jarre, qui était destinée à mieux assurer la constance de la différence de potentiel.

J'ai employé des plaques de soufre, de paraffine, d'ébonite, et trois liquides, le pétrole, l'essence de térébenthine et le sulfure de carbone. Les plaques de soufre et de paraffine sont obtenues par fusion, dans un moule dont le fond est rendu horizontal par un niveau à bulle d'air. L'épaisseur des lames solides est mesurée avec une vis à deux pointes et un cathétomètre. La distance totale $e + e'$ des deux plateaux est aussi mesurée au cathétomètre, en cinq points différents, et l'on prend la moyenne.

Les liquides sont placés dans une cuve en glace mince, reposant aussi sur les trois tiges d'ébonite, et leur épaisseur, qui n'est jamais égale à la profondeur totale de la cuve, est mesurée au cathétomètre. Le diamètre de la cuve et des plaques solides est supérieur à celui du plateau fixe.

Le diélectrique, lorsqu'il est solide, est placé dans la cage, réglé et abandonné pendant plusieurs jours dans l'appareil fermé, pour lui laisser le temps de perdre toute trace d'électricité. La balance contenant une tare un peu trop faible et toutes les pièces communiquant avec le sol, j'achève d'établir l'équilibre avec un poids p. Je charge le plateau fixe et j'établis de nouveau l'équilibre avec un poids P. Je remets ce plateau en communication avec le sol, et j'équilibre encore

par un poids p'. Je représente l'attraction des plateaux par

$$F = P - \frac{p + p'}{2}. \tag{2}$$

J'enlève rapidement le diélectrique et, refermant la cage, je détermine l'attraction F' des deux plateaux, séparés par l'air, au moyen de trois opérations semblables aux premières.

J'opère de même pour les liquides, mais, afin d'éviter l'évaporation, je détermine d'abord F', la cuve vide étant placée d'avance. Puis je verse le liquide et je mesure aussitôt la valeur de F. Dans les deux cas, il faut faire une petite correction, qui consiste à remplacer l'épaisseur du fond de la cuve par l'épaisseur d'air équivalente. J'ai supposé la constante diélectrique de ce verre égale à 2,5.

Le tableau suivant, dans lequel e et e' sont exprimées en centimètres, les attractions F et F' en milligrammes, montre que les valeurs de k déduites de la formule (1) concordent d'une manière suffisante avec celles qui sont généralement admises, ainsi qu'avec celles que j'ai moi-même obtenues par la balance de Coulomb (*).

DIÉLECTRIQUES	e	e'	F	F'	$\frac{F}{F'}$	k
Paraffine n° 1	2,20	0,70	39,5	17,25	2,29	1,80
— n° 1	»	0,66	40,5	14	2,89	2,15
— n° 2	3,37	0,61	30,5	9	3,39	2,16
— n° 2	»	0,68	23,5	7,25	3,24	2,14
Soufre	3,56	0,54	48,5	9,75	4,97	2,73
—	»	0,65	53,5	13	4,11	2,50
Ebonite	2,04	0,32	72,75	18,75	3,88	2,32
Sulfure de carbone	2,60	1,09	22	11,5	1.91	1,63
Essence de térébenthine	2,77	0,79	26,25	13	2,02	1,61
Pétrole	2,88	0,71	19,5	8	2,43	1,81

(*) *Comptes rendus*, 16 novembre 1891; *Annales télégraphiques*, septembre-octobre et novembre-décembre 1893.

Un autre échantillon de pétrole a donné les nombres :

1,98, 1,95, 2,24, 2,10, 2,15, 2,01, 2,13.

dont la moyenne est 2,08.

La formule (1) est donc exacte et, en particulier, dans le cas où *e* devient négligeable, on a :

$$\frac{F}{F'} = k^2. \tag{3}$$

L'attraction de deux plateaux parallèles peut donc servir à mesurer la constante diélectrique ; cette méthode est plus simple et plus rapide que celles dont on se sert habituellement, et n'exige, outre la balance de précision, que des appareils faciles à construire.

ACCROISSEMENT DE LA CONSTANTE DIÉLECTRIQUE AVEC LE TEMPS.

Des mesures faites avec la balance de Coulomb m'ayant paru montrer que le pouvoir inducteur du soufre augmente avec le temps, ainsi que M. Gordon l'a déjà observé pour le verre, j'ai voulu vérifier ce résultat et j'ai appliqué la méthode qui précède à diverses lames isolantes que j'avais depuis un certain temps dans mon laboratoire.

La plaque de soufre A était ainsi conservée depuis deux ans ; elle fut mise dans l'appareil après avoir été bien séchée et essuyée.

Le soufre B fut obtenu en refondant, le 23 octobre 1893, des plaques conservées depuis trois ou quatre ans et trop petites pour être placées directement dans l'appareil. Refondue deux autres fois, le 27 décembre,

puis le 10 février 1894, cette lame a donné les deux plaques désignées par les lettres B_1 et B_2.

La plaque C a été obtenue aussi en refondant des lames que j'avais depuis trois ou quatre ans.

Les plaques de paraffine que je possédais depuis longtemps ne purent être placées dans l'appareil, les chaleurs de l'été les ayant déformées. Les lames A de paraffine, blanche ou brune, furent obtenues en refondant des plaques datant de la même époque que celles de soufre, la plaque B au moyen de paraffine que j'avais depuis le même temps, mais qui n'avait pas encore servi.

Enfin la plaque d'ébonite est celle qui avait donné, deux ans auparavant, le nombre 2,32, indiqué dans le tableau précédent. La surface fut renouvelée au papier de verre avant la première et la quatrième expérience de la première série. La seconde série eut lieu trois mois après; dans l'intervalle, la plaque avait été conservée dans l'air sec.

Le tableau suivant indique, avec les épaisseurs en centimètres, les valeurs de k obtenues pour ces différentes plaques :

	SOUFRE					PARAFFINE			ÉBONITE	
						blanche		brune	1re série	2e série
	A	B	B_1	B_2	C	A	B	A		
Épaisseur . . .	1,81	2,20	2,03	1,83	2,14	1,82	2,06	1,07	2,04	
Valeurs de k.	4,60	5,24	3,58	3,75	4,45	2,78	2,28	2,08	3,02	3,66
	4,56	4,29	5,34	4,11	4,58	2,53	2,19	2,29	3,22	3,16
	5,09	5,82	5,23	4,88	4,03	2,53	2,35	2,36	3,66	3.18
	5,12	4,30	»	4,19	»	2,51	»	»	3,11	»
	»	4,66	»	4,38	»	»	»	»	3,52	»
	»	4,75	»	»	»	»	»	»	3,42	»
	»	4,40	»	»	»	»	»	»	3,44	»
	»	»	»	»	»	»	»	»	3,58	»

On voit que, pour la plaque de soufre A, le pouvoir inducteur, en deux ans, avait presque doublé. Les autres plaques montrent que cette augmentation n'est détruite que partiellement par une et même plusieurs refontes; il semble qu'après une seconde ou troisième fusion (plaques B_1 et B_2), la constante diminue pour remonter presque aussitôt.

Le pouvoir inducteur de l'ébonite a subi aussi, en deux ans, une augmentation notable; pour la paraffine, sauf la première plaque, l'accroissement s'est trouvé presque nul.

Je pense donc que la capacité inductive d'un certain nombre de diélectriques solides, surtout de ceux dont la structure moléculaire peut varier, est susceptible d'augmenter d'une manière sensible avec le temps. Peut-être faut-il attribuer à cette cause une partie des divergences observées entre les résultats obtenus par les divers expérimentateurs.

Julien Lefèvre,

Docteur ès sciences physiques,
professeur au Lycée
et à l'École des sciences de Nantes.

CHRONIQUE.

Prix Gaston Planté.

Par testament olographe en date du 6 mai 1889, M. Raymond-Louis-Gaston Planté a légué à l'Académie des sciences une rente perpétuelle de 1.500 francs par an, destinée à la fondation d'un prix, lequel, décerné tous les deux ans, sera attribué, d'après le jugement de l'Académie, à l'auteur français d'une découverte, d'une invention ou d'un travail important dans le domaine de l'électricité.

Un décret, en date du 4 juillet 1892, a autorisé l'Académie à accepter ce legs.

En conséquence, l'Académie décernera, s'il y a lieu, le prix Gaston Planté, dans sa séance annuelle de 1895.

Le prix est de 3.000 francs.

Les mémoires devront être déposés au secrétariat de l'Institut avant le 1er juin 1895.

(*Comptes rendus*, 17 décembre 1893.)

Sur la capacité électrostatique d'une ligne parcourue par un courant.

Note de M. Vaschy.

Dans sa Note du 29 janvier dernier (*Comptes rendus*, t. CXVIII, p. 227), M. Potier a fait remarquer que la capacité par unité de longueur d'une ligne électrique, bien définie lorsque l'électricité est en équilibre à la surface des fils ne l'est plus dans le cas où ces fils sont parcourus par un courant. Il y a donc intérêt à examiner si l'extension de la notion de capacité à ce cas est légitime. Nous étudierons le cas d'un courant permanent.

Considérons, par exemple, un câble électrique formé d'un fil cylindrique en cuivre, de rayon R_1, entouré d'une couche isolante concentrique de rayon R_2, sur laquelle est appliquée une armature métallique. Si l'armature est au potentiel zéro et le fil au potentiel U_1, on sait qu'en un point du diélectrique situé à une distance r de l'axe du câble (supposé indéfini), le potentiel U est

$$U = \frac{U_1}{\log_e\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \log_e\left(\frac{R_2}{r}\right).$$

La densité électrique σ_1 à la surface du fil a pour expression :

$$\sigma_1 = -\frac{\mu}{4\pi}\left(\frac{dU}{dr}\right)_{r=R_1} = \frac{\mu U_1}{4\pi R_1} \frac{1}{\log_e\left(\frac{R_2}{R_1}\right)},$$

μ désignant le pouvoir inducteur du diélectrique, et $\left(\frac{dU}{dr}\right)_{r=R_1}$ l'intensité du champ électrique dans ce diélectrique au contact du fil. La charge électrique Q_1 de l'unité de longueur du fil étant égale au produit de σ_1 par la surface $2\pi R_1$, la capacité C du câble par unité de longueur est donc égale à

$$C = \frac{Q_1}{U_1} = \frac{2\pi R_1 \sigma_1}{U_1} = \frac{\mu}{2\log_e\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}. \qquad (1)$$

Supposons maintenant le fil parcouru par un courant. Le conducteur étant homogène, dans la section droite située à une distance x de la section qui est au potentiel zéro le potentiel U est proportionnel à x, soit :

$$U = ax.$$

Dans le diélectrique, le potentiel U dépend à la fois de l'abscisse x et de la distance r à l'axe du câble. Il doit satisfaire : 1° à l'équation de Laplace :

$$\frac{d^2U}{dx^2} + \frac{d^2U}{dy^2} + \frac{d^2U}{dz^2} = 0;$$

2° Aux conditions :

$U = 0$ pour $r = R_2$ (paroi intérieure de l'armature),
$U = ax$ pour $r = R_1$ (surface du fil).

La fonction

$$U = \frac{ax}{\log_e\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \log_e\left(\frac{R_2}{r}\right) \qquad (2)$$

satisfait à ces diverses conditions (cas d'un câble indéfini) et répond à la question.

Nous définirons encore la capacité C du câble par unité de longueur, en un point x, comme étant le rapport de la charge Q_1 du fil par unité de longueur à la différence de potentiel ax qui existe entre ce fil (au point x) et l'armature. La densité électrique σ_1 ayant pour expression :

$$\sigma_1 = -\frac{\mu}{4\pi}\left(\frac{dU}{dr}\right)_{r=R_1} = \frac{\mu ax}{4\pi R_1} \frac{1}{\log_e\left(\frac{R_2}{R_1}\right)},$$

il en résulte :

$$C = \frac{Q_1}{ax} = \frac{2\pi R_1 \sigma_1}{ax} = \frac{\mu}{2\log_e\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}. \qquad (3)$$

L'identité des formules (1) et (3) montre que la capacité par unité de longueur d'un câble parcouru par un courant permanent a le même sens qu'en électrostatique.

Toutefois, le champ électrique à l'intérieur du diélectrique est différent de ce qu'il est dans le cas où le fil a un potentiel uniforme U_1. Ainsi, la formule (2) montre que la surface équipotentielle zéro se compose de deux nappes : 1° section droite $x = 0$; 2° cylindre de rayon R_2. Les autres surfaces équipotentielles sont de révolution autour de l'axe du câble et sont asymptotes au cylindre de rayon R_2 ($x = \infty$ pour $x = R_2$). Chacune d'elles coupe la surface du fil suivant une circonférence $\left(r = R_1 \text{ pour } x = \frac{U}{a}\right)$ et se prolonge à l'intérieur du conducteur par la section droite de celui-ci, qui est équipotentielle.

La courbe méridienne de la surface équipotentielle U est représentée par l'équation (2), x et r désignant l'abscisse et l'ordonnée. Elle coupe la surface du fil sous un angle α, dont la tangente est égale à son coefficient angulaire :

$$\operatorname{tang} \alpha = \left(\frac{dr}{dx}\right)_{r=R_1} = \frac{R_1}{x} \log_e \left(\frac{R_2}{R_1}\right).$$

Cet angle α est sensiblement nul sur presque toute la longueur du câble. En effet, avec les données $R_1 = \frac{1}{2}$ millimètre, $R_2 = 3$ millimètres, dès que x est supérieur à 50 centimètres, α tombe au-dessous de $\frac{1}{10}$ de degré. Ainsi, à partir d'une distance de 50 centimètres de la section droite, qui est au potentiel de l'armature (zéro), les surfaces équipotentielles se confondent sensiblement sur une assez grande longueur avec les cylindres concentriques, comme dans le cas où il n'y a pas de courant.

Le même raisonnement est applicable aux lignes électriques aériennes. Il s'étend d'ailleurs au cas où le courant, au lieu d'être permanent, est lentement variable, quoique alors il ne soit pas rigoureusement exact. Mais, lorsque les variations du courant sont très rapides, *on ne peut plus supposer que le champ électrique admet un potentiel*, même approximativement, et la notion de capacité définie ci-dessus disparaît.

(*Comptes rendus*, 24 décembre 1894.)

Potentiels électriques dans un liquide conducteur en mouvement uniforme.

Note de M. G. Gouré de Villemonté,
présentée par M. Mascart.

Les expériences suivantes ont eu pour objet de déterminer si l'écoulement d'un liquide (mercure, solutions de sulfate de cuivre, de zinc, de nickel, contenant 10 grammes de sel par litre d'eau distillée) à travers des tubes de verre larges, de même section dans toute leur étendue, isolés, peut produire une différence de potentiel entre deux points du liquide.

L'écoulement du mercure a été déterminé à travers des tubes de verre horizontaux de 3 millimètres de diamètre; l'écoulement des solutions de sulfates, à travers une série de tubes de 8 millimètres de diamètre, disposés : 1° horizontalement dans un bain d'eau froide à température constante; 2° verticalement à l'air libre.

Les différences de potentiel ont été évaluées en reliant aux pôles d'un électromètre capillaire permettant d'apprécier une différence de 0,00015 volt deux fils de platine nus, plongés dans la colonne de mercure, et des fils de platine de quelques millimètres, soudés à l'extrémité de tubes de verre, recouverts de dépôts électrolytiques de cuivre, de zinc, de nickel, dans les solutions correspondantes. Les électrodes ont été placées : 1° toutes deux sur le trajet du liquide en mouvement; 2° l'une dans le réservoir, l'autre sur la colonne liquide en mouvement. Les distances entre les électrodes ont été de 52 centimètres sur la colonne de mercure; comprises entre 80 centimètres et 127 centimètres sur les colonnes horizontales des solutions salines; comprises entre 40 centimètres et 195 centimètres sur les colonnes verticales des mêmes solutions.

Les vitesses d'écoulement des solutions ont été 33,5 millimètres par seconde dans les tubes horizontaux; comprises entre 155,3 millimètres et 323 millimètres dans les tubes verticaux.

Les différences de potentiel entre les électrodes cuivre et zinc, mesurées sur le liquide en repos, ont été trouvées nulles lorsque le dépôt électrolytique était préparé depuis un ou deux jours, et comprises entre 0,00045 volt et 0,00075 volt après une immersion de plusieurs jours dans les solutions.

Résultats. — 1° Les différences de potentiel observées : 1° lorsque le liquide était immobile; 2° lorsque le liquide était en mouvement, ont été trouvées les mêmes avec le mercure, les solutions de sulfate de cuivre et de sulfate de zinc, les durées des périodes successives de repos et de mouvement variant de 30 secondes à 6 minutes;

2° Les altérations chimiques, le passage des bulles d'air entraînées par la solution, produisent, entre les électrodes, des différences de potentiel relativement très grandes et toujours très variables avec l'état de repos ou du mouvement du liquide;

3° Des modifications très promptes des sels ou des électrodes de nickel n'ont pas permis d'obtenir, avec la solution de sulfate de nickel, des résultats concordants pendant des périodes alternatives de repos et de mouvement supérieures à 30 secondes.

Conclusion. — Le mouvement uniforme d'un liquide conducteur à travers des tubes de verre larges, de même section dans toute leur étendue, isolés, ne produit aucune différence appréciable de potentiel entre deux points du liquide, dans les limites de vitesses où j'ai opéré (1).

(*Comptes rendus*, 24 décembre 1894.)

Sirène à moteur électrique.

M. Pellat présente à la Société une sirène à moteur électrique construite sur ses indications par M. Ducretet, qui diffère de la sirène de Cagniard de la Tour par les deux points suivants :

1°.Les trous des plateaux ont une direction normale à ceux-ci; 2° la rotation est obtenue par un moteur électrique. Pour cela, sur l'axe du disque tournant est disposé un petit anneau Gramme placé entre les mâchoires d'un électro-aimant; le système est monté en dérivation et le courant est fourni par trois accumulateurs en tension. Aucune résistance supplémentaire n'est introduite dans le circuit inducteur; mais des résistances auxiliaires sont placées dans le circuit de l'anneau, au moyen d'un rhéostat continu. On peut ainsi faire varier à volonté la vitesse de rotation, l'amener très rapidement à une valeur fixe et il en est de même, par conséquent, de la hauteur du son rendu par la sirène.

Cet instrument présente les avantages suivants : 1° l'unisson du son étudié s'obtient bien plus aisément qu'avec les sirènes ordinaires et se maintient pendant longtemps; 2° les qualités du son, hauteur et intensité, sont rendues indépendantes; on peut obtenir des sons graves intenses ou des sons aigus faibles, ce que ne permet pas la sirène de Cagniard de la Tour; 3° les sons graves sont aussi purs que les sons aigus, ce qui n'a pas lieu dans la sirène ordinaire; 4° on peut

interrompre le courant d'air, pour cesser de faire parler la sirène, sans modifier la hauteur du son rendu quand l'air est insufflé à nouveau.

M. Pellat fait fonctionner ce nouvel appareil ainsi que deux sirènes ordinaires pour faire la comparaison.

M. Arnoux pense qu'on obtiendra encore plus de fixité dans la hauteur du son par l'addition, sur l'axe de rotation, d'un disque de cuivre rouge tournant dans un champ magnétique.

Tout en reconnaissant la justesse de l'idée, M. Pellat fait remarquer à M. Arnoux que dans la pratique le son rendu par la sirène électrique, telle qu'elle est construite, est suffisamment fixe.

M. Guillaume fait observer qu'un corps qui se déplace dans un fluide éprouve, de la part de ce dernier, une résistance qui croît lorsque le fluide se meut perpendiculairement au mouvement du corps; il semble en résulter que la vitesse du disque mobile de la sirène doit diminuer légèrement lorsque la vitesse du courant d'air augmente. Il se peut du reste que cette diminution de vitesse soit insensible dans les limites de la pratique.

(*Société de physique*, 4 janvier 1895.)

Sur la valeur absolue des éléments magnétiques au 1er janvier 1895.

Note de M. Th. Moureaux, présentée par M. Mascart.

Parc Saint-Maur. — Les observations magnétiques, en 1894, ont été continuées, avec les mêmes appareils et réduites d'après les mêmes méthodes que les années précédentes. Les courbes de variation sont dépouillées pour toutes les heures, et les repères vérifiés par des mesures absolues effectuées chaque semaine. La sensibilité des trois appareils de variations est de même vérifiée par de fréquentes graduations.

Une faible perturbation s'étant produite dans la soirée du 1er janvier 1895, les valeurs absolues des divers éléments, données ci-après, sont déduites de la moyenne des observa-

tions horaires obtenues aux dates des 31 décembre 1894, 1er et 2 janvier 1895, et rapportées à des mesures absolues faites les 27 et 31 décembre, en temps de calme magnétique.

La variation séculaire des différents éléments résulte de la comparaison entre les valeurs actuelles et celles qui ont été données pour le 1er janvier 1894.

Éléments.	Valeurs absolues au 1er janv. 1895	Variation séculaire en 1894
Déclinaison	15°12',7	— 5',3
Inclinaison	65° 4',9	— 1',2
Composante horizontale	0,19641	+ 0,00017
Composante verticale	0,42277	— 0,00003
Force totale	0,46617	+ 0,00005

L'observatoire du Parc Saint-Maur est situé par 0°9'23" de longitude est, et 48°48'34" de latitude nord.

Perpignan. — Les courbes magnétiques relevées et réduites sous la direction de M. le docteur Fines, sont dépouillées heure par heure. Les valeurs des éléments, au 1er janvier 1895, résultent, comme au Parc Saint-Maur, de la moyenne des observations horaires des 31 décembre 1894, 1er et 2 janvier 1895, contrôlées par des mesures absolues faites le 29 décembre 1894 et le 2 janvier 1895.

Éléments.	Valeurs absolues au 1er janv. 1895	Variation séculaire en 1894
Déclinaison	14°3',4	— 5',0
Inclinaison	60°9',9	— 0',8
Composante horizontale	0,22345	+ 0,00025
Composante verticale	0,38961	+ 0,00021
Force totale	0,44914	+ 0,00031

L'observatoire météorologique et magnétique de Perpignan est situé par 0°32'45" de longitude est et 42°42'8" de latitude nord.

(*Comptes rendus*, 7 janvier 1895.)

L'Éditeur-Gérant : Vve Ch. Dunod et P. Vicq.

Paris. — Imp. C. Marpon et E. Flammarion, rue Racine, 26.

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1895 **Mai - Juin**

DÉVELOPPEMENT DE L'OUTILLAGE

DU

SERVICE DES CABLES SOUS-MARINS

(Suite et fin).

LES NAVIRES TÉLÉGRAPHIQUES.

La « Charente ».

Ainsi que nous l'avons exposé au début de cet article, l'*Ampère* étant devenu entièrement insuffisant pour permettre au service des câbles d'exécuter les travaux d'entretien du réseau sous-marin de l'administration, celle-ci demanda au ministère de la marine la cession d'un transport-aviso et en 1873, la *Charente* fut mise à sa disposition, à charge par elle de le faire aménager en vue de sa nouvelle destination.

Ce transport avait été construit en Angleterre en 1862; c'était un navire en fer d'un échantillon remar-

quable comme solidité, de $65^m,70$ de longueur, de $9^m,50$ de largeur maxima et de $5^m,55$ de creux; d'un tonnage de 548 tonneaux et d'un déplacement de 1.618 tonneaux.

Il était pourvu d'une machine à pilon à deux cylindres avec condenseur par mélange, construite en 1862 et d'une force de 120 chevaux de 300 kilogrammètres sur les pistons, ou de 480 chevaux de 75 kilogrammètres.

La pression de la vapeur à l'introduction dans les cylindres ne devait être que de $1^{kg},800$; la machine donnant 60 tours en moyenne par minute imprimait au navire une vitesse des $7^{noeuds},5$ à 8 nœuds.

Le 8 octobre 1873, le chef du service des câbles sous-marins, M. l'inspecteur général Ailhaud, passait avec la Société des forges et chantiers de la Méditerranée un marché pour l'exécution, dans les chantiers de la Seyne et les ateliers de Marseille, d'un ensemble de travaux d'appropriation du navire, et d'installation de machines et de cuves en vue de la manœuvre et du lovage du câble.

La machinerie installée sur le pont comprenait un appareil de pose à l'arrière et un appareil de relevage à l'avant; quant aux travaux de coque, ils consistaient dans la suppression du beaupré et la modification de l'étrave, ce qui devait permettre l'installation d'une plate-forme avec grande poulie à gorge P pour le passage des filins (*fig.* 20), la modification des panneaux AV et AR, l'installation d'une roue de gouvernail sur la passerelle centrale, le montage à l'intérieur du navire de deux cuves *c*, *c'*, dont une supprimée à bord de l'*Ampère*.

L'appareil de pose comprenait un tambour T avec

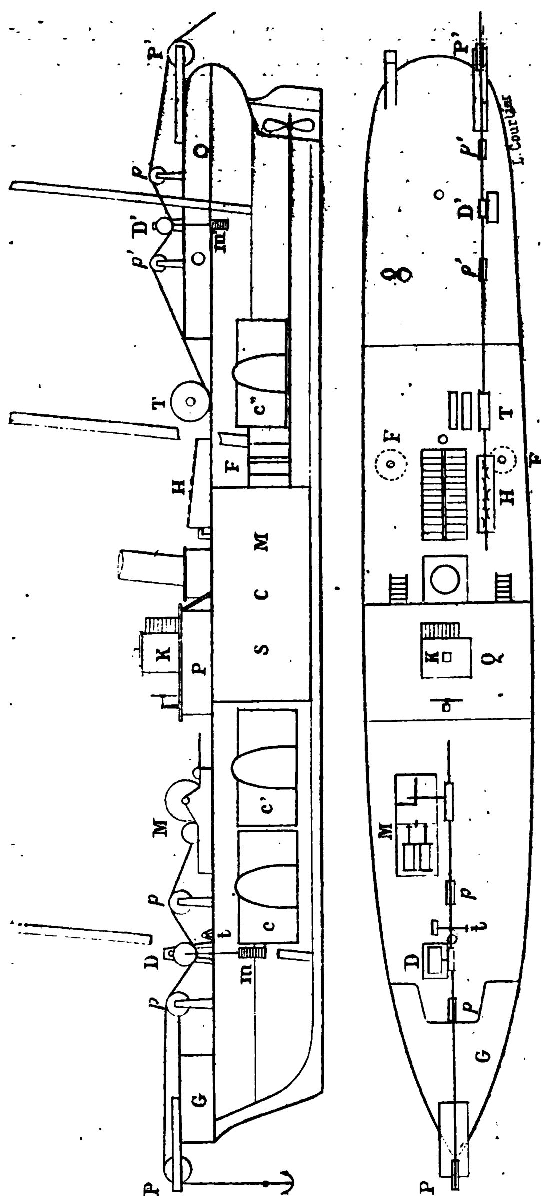


Fig. 20.

G tengue,
Q passerelle,
K kiosque,

O dunette,
M machine motrice,
C chaudière,

S soutes à charbon,
c, c', c'' cuves à câbles,
F puits à flins.

deux roues de frein montées sur le même arbre, les freins étant formés de rubans métalliques garnis de bois enveloppant la jante des roues et munis de leviers à contrepoids. Un appareil régulateur de la tension initiale du câble en H, formé de deux poulies à gorge sur lesquelles le câble était plus ou moins fortement appuyé par deux poulies de pression commandées par des leviers manœuvrés à la main, avait pour but de retenir le câble arrivant au tambour et d'empêcher les spires de chevaucher les unes sur les autres ou de décapeler du tambour. Un dynamomètre D′, avec un modérateur hydraulique *m*, permettait de mesurer constamment la tension supportée par le câble ; il était encadré par deux poulies guides *p′*. Enfin une poulie à gorge P′ installée sur une plate-forme Æ assurait le filage du câble à la mer.

Une roue de gouvernail, avec une transmission organisée à l'aide de chaînes et établie auprès du dynamomètre D′, était destinée à agir instantanément sur les poids commandant les freins de manière à en régler l'action modératrice sur le tambour de déroulement, ou même, à en produire l'arrêt presque instantané.

L'appareil de relevage se composait d'une machine à vapeur horizontale sans condensation M, à deux cylindres d'une force de 80 chevaux indiqués, cette machine commandant un tambour à l'aide des équipages de roues dentées nécessaires pour donner au tambour trois vitesses différentes ; de deux poulies guides *p* encadrant un dynamomètre D avec poids agissant par l'intermédiaire d'un levier de manière à enregistrer des tensions pouvant s'élever jusqu'à sept tonnes et modérateur hydraulique *m*, d'une poulie à gorge à grand diamètre sur l'avant P installée sur de

fortes carlingues appuyées sur la teugue et supportant une plate-forme pour les manœuvres.

L'appareil de relevage était installé à tribord AV; l'appareil de pose à bâbord AR, de manière à équilibrer le plus possible le chargement du navire.

Cet aménagement de la *Charente* ne subit aucune modification jusqu'au moment où M. Wunschendorff, aujourd'hui Directeur-Ingénieur de la Région de Paris, qui avait été pendant plusieurs années attaché au service des câbles, fut chargé par l'administration d'entreprendre vers la fin de l'année 1880 la réparation du câble de Marseille à Alger, immergé en 1871, pendant que le chef du service devait s'occuper des projets de création et de la construction de la nouvelle usine de la Seyne. En vue de cette importante opération, une troisième cuve à câble c'' avait été construite à l'arrière de la *Charente*, et M. Wunschendorff fit installer, à la plate-forme de l'avant, une deuxième poulie devant faciliter la manœuvre des filins à l'occostage des bouées, et permettre de disposer à la fois des deux côtés d'un câble amené à la surface de l'eau.

L'outillage spécial assez réduit jusque-là fut complété au cours des opérations de M. Wunschendorff (*) par l'achat de filins de drague et de bouées, de champignons, de grappins et de fil d'acier pour l'appareil Thomson de sondage, enfin par l'acquisition de trois fortes bouées qui furent construites par la société anglaise « India rubber, Gutta percha and telegraph Works C° », la même à laquelle nous avons demandé plus tard la fourniture des deux machines à câbler légères. Quatre puissants porte-manteaux furent ins-

(*) Voir les numéros des *Annales télégraphiques* de janvier-février, mars-avril 1887.

tallés, deux à l'avant, deux à l'arrière du navire, pour la manœuvre des bouées.

C'est dans ces conditions d'outillage que furent entrepris les travaux de réparation du câble d'Alger, en 1880 et 1881, et du câble de Corse, en 1887, qui, avec la réparation du câble italien d'Otrante à Valona, par M. Raynaud, en 1877, constituent la série d'opérations en mer profonde inaugurant une ère nouvelle de la télégraphie sous-marine en France, jusque-là se bornant à peu près à des opérations côtières.

La progression, comme difficultés à vaincre, avait été continue : des fonds de 1.000 mètres avaient été rencontrés sur le câble d'Otrante, mais les opérations avaient été facilitées par la possibilité de prendre continuellement des relèvements à l'aide des côtes, le détroit d'Otrante sur le tracé du câble n'ayant pas plus de 40 milles; dans la campagne de 1880-81, M. Wunschendorff avait eu à draguer, par des fonds allant jusqu'à 1.800 mètres, à 40 milles de Planier, mais il n'avait pas opéré plus au large; en 1887, M. Amiot, réparant le câble d'Antibes à Saint-Florent dans une longue et fatigante campagne à la suite du tremblement de terre qui désola Nice, avait eu à relever le câble, pour ainsi dire haché par les mouvements du sol de la mer, par une profondeur allant en croissant jusqu'à 2.600 mètres.

L'aménagement et l'outillage de la *Charente* avaient donc fait leurs preuves et permis d'entreprendre et de mener à bonne fin des travaux importants et délicats; les campages de 1889, 1890 et 1891 effectuées de nouveau sur le câble Marseille-Alger 1871, mais cette fois, sur presque tous les points du tracé, complètement en dehors des vues des côtes et par des profondeurs

qui ont atteint 3.000 mètres, nous ont permis de reconnaître et de signaler bien des points défectueux de l'outillage, de réaliser avec les ressources propres du service un certain nombre d'améliorations et d'en provoquer de plus importantes.

Dès l'année 1889, nous fîmes établir une passerelle longitudinale mettant en communication directement la passerelle du commandement avec le gaillard d'avant, ce qui donnait aux ingénieurs une grande facilité pour diriger et surveiller les opérations de dragage tout en restant à portée du kiosque où, à tout instant, ils doivent consulter les cartes ou y porter des indications (*).

L'année suivante nous effectuâmes le même travail pour relier la passerelle centrale à la dunette, ce qui, dans les immersions par l'arrière, facilitait les allées et venues des ingénieurs et des officiers au lieu de les obliger à descendre chaque fois sur le pont encombré par les machines, le câble, les filins, etc., pour remonter ensuite, qu'ils aillent de la passerelle à l'arrière ou inversement.

(*) Les navires télégraphiques modernes sont construits pour la plupart à spare-deck, c'est-à-dire (*fig.* 21) avec un pont supérieur couvrant le pont

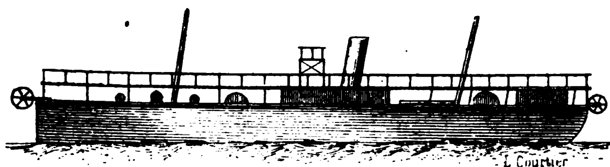


Fig. 21.

compris entre les bastingages, de telle sorte que toute la machinerie est abritée complètement. Le spare-deck reçoit une petite passerelle transversale destinée au commandant et est simplement entouré de rambades supportées par des chandeliers, comme la dunette des anciens navires et de la *Charente*.

La même année, nous fîmes installer à l'avant du navire, en arrière du mât de misaine, un treuil à vapeur *t* destiné à actionner, à l'aide d'une chaîne et d'un barbotin, le guindeau servant à relever les ancres. Ce treuil devait en outre rendre les plus grands services pour le hissage aux porte-manteaux des grosses bouées et des embarcations, et par conséquent, permettre de réduire l'équipage en supprimant des manœuvres à bras ou tout au moins de ne pas augmenter l'équipage normal dans nos opérations sur les grands câbles.

Une lacune dans l'outillage, l'absence de canot à vapeur sur la *Charente*, se révéla à nous à notre première campagne, au cours de laquelle nous dûmes consacrer le mois de juillet 1888 à changer les atterrissements, dans l'île de Djerba, des câbles posés en 1881 par les Anglais, entre cette île et Gabès d'une part, et Sfax de l'autre. La pointe nord-ouest de l'île, choisie en 1881, était évidemment la plus favorable pour y amener les deux câbles : l'île de Djerba forme, en effet, une sorte de quadrilatère dont le côté le plus long, exposé au nord, se prolonge en pente tellement douce que les navires tirant 4 mètres d'eau sont obligés de mouiller à 4 milles d'Houmtsouk, chef-lieu de l'île; le côté à l'ouest offre au contraire une côte un peu plus accore et un navire d'assez fort tonnage peut venir mouiller à un demi-mille environ de la partie nord.

C'est ce point qui fut choisi pour y établir la guérite; mais le bureau télégraphique devant être installé à Houmtsouk, c'est-à-dire à 11 kilomètres de l'atterrissement, les câbles sous-marins durent être prolongés par une ligne souterraine, d'un établissement très facile du reste eu égard à la nature sablonneuse du sol de l'île. C'était là une disposition qui ne pouvait évidem-

ment être que provisoire, car les câbles enfouis à une profondeur de 60 à 70 centimètres, sans aucune protection spéciale, devaient se trouver promptement dans un milieu surchauffé, la température du sable s'élevant facilement à 50 ou 60° sous l'action du soleil; dès lors, la ligne souterraine devait être à très bref délai mise hors de service, et la remplacer dans les mêmes conditions était inadmissible.

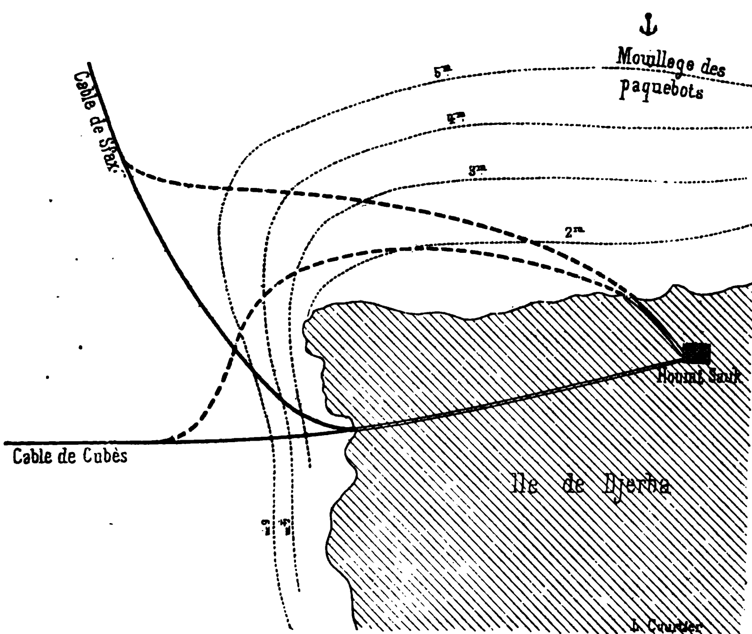


Fig. 22.

De plus, si au moment de l'occupation on avait disposé de moyens pour le transport des bobines, en 1888 ils eussent fait complètement défaut; enfin, la *Charente* ne pouvait être immobilisée pendant les sept ou huit jours qu'aurait duré la construction de la ligne nouvelle.

Force nous fut donc d'adopter une autre solution, c'est-à-dire de réduire la ligne souterraine à son minimum de longueur en relevant les atterrissements et en les reportant au nord d'Houmtsouk même. On traçait alors une route du petit port d'Houmtsouk à l'agglomération principale sur une longueur de 1.500 mètres et il était possible de faire préparer une tranchée très profonde, c'est ce que nous fîmes. Mais la réalisation de notre projet, quant au travail à la mer, présentait de grandes difficultés; car il s'agissait, en effet, pour chaque câble de poser, sans le navire, 10 à 11.000 mètres de câble côtier ou intermédiaire, alors qu'avec les moyens de la *Charente* les atterrissements ne peuvent être de plus de 800 à 900 mètres. La difficulté fut surmontée grâce à l'emploi de mahones sur lesquelles le câble nécessaire put être chargé et surtout, à l'existence à Houmtsouk d'un canot à vapeur appartenant à la compagnie Rubattino et que nous pûmes noliser. Il fut utilisé aussi bien en vue du remorquage des mahones que de nos communications entre le navire et le port, très longues et très pénibles pour l'équipage, puisque chaque voyage correspondait à une distance de 8 milles à franchir le plus souvent à la rame.

Cet exemple, choisi entre bien d'autres aussi concluants, montre combien, dans les travaux d'atterrissement, un canot à vapeur à bord de la *Charente* était nécessaire; mais, en présence de la dépense que son acquisition devait entraîner, nous n'en fîmes la demande que deux ans plus tard, après que d'autres occasions se fussent présentées d'en établir toute l'utilité.

C'est dans les campagnes de 1889 et de 1890, sur le câble d'Alger (1871) que nous reconnûmes de nouveau combien un canot à vapeur nous était nécessaire.

Dans ces deux campagnes, nous opérions principalement à mi-distance de Marseille et des Baléares et aux environs de Minorque, c'est-à-dire en pleine mer; les dragages sont alors effectués dans le voisinage d'une bouée de position mouillée sur le tracé présumé du câble et qu'il est indispensable de ne pas perdre de vue surtout quand le câble sur lequel on opère est voisin d'autres câbles. Quand on dispose d'une période de beau temps, on a grand intérêt à continuer le travail la nuit et il faut munir la bouée d'un puissant fanal; or il nous est arrivé d'être revenu trop tard, à la fin du jour, par le travers de la bouée pour pouvoir y envoyer une embarcation à la rame et d'être ainsi obligé de passer la nuit mouillé sur la drague. Si nous avions disposé d'un canot à vapeur, nous eussions toujours eu le temps de faire porter le fanal à la bouée et de continuer à draguer la nuit pour profiter du beau temps.

En opérant à proximité de Minorque dans des fonds de roche, nous avons plusieurs fois passé dix jours consécutifs à draguer ou à relever le câble sans avoir pu terminer notre travail; le manque de vivres à bord et la diminution du combustible nous obligeaient alors à suspendre l'opération et à entrer à Mahon pour nous ravitailler. L'entrée d'un gros navire dans un port entraîne toujours des formalités, des dépenses et des manœuvres d'amarrage, si la *Charente* eût été pourvue d'un canot à vapeur, il lui eût été possible de s'approcher simplement de l'entrée du fiord au fond duquel est le port de Mahon et d'y envoyer une embarcation remorquée. A la fin de 1890 et en vue de la pose du câble de Toulon à Ajaccio, l'administration voulut bien faire droit à notre demande et la *Charente* fut pourvue

d'un canot à vapeur filant sept nœuds à l'heure et pouvant remorquer deux grands canots chargés chacun de 400 mètres de câbles à double armure pour la pose des atterrissements.

En nous remettant le service des câbles sous-marins en février 1888, notre prédécesseur, M. l'inspecteur général Amiot, nous avait signalé, comme une question dont nous devrions certainement nous occuper à brève échéance, le remplacement de la machine motrice datant de 1862, machine à moyenne pression qui exigeait une très grande quantité de vapeur et entraînait par suite une consommation de charbon elle-même très grande. En 1885, on avait remplacé les chaudières et les nouvelles étaient timbrées à $4^{kg},250$, or la machine ne pouvait employer que de la vapeur à $1^{kg},800$.

Il résultait de là que, d'une part, on ne profitait pas de toute la puissance des chaudières et que, d'autre part, pour atteindre à la vitesse maxima de 8 nœuds on faisait une dépense de combustible très considérable, 22 à 23 tonnes par 24 heures. Les soutes à charbon ne pouvant en recevoir plus de 140 tonnes, le navire ne pouvait marcher plus de six jours sans avoir épuisé son combustible, c'est-à-dire qu'il ne pouvait franchir sans relâcher une distance de plus de 1.152 milles; mais comme on doit toujours posséder à bord un certain approvisionnement pour parer à l'imprévu, on voit que le rayon d'action du navire ne pouvait dépasser plus de 800 à 900 milles. Toute mesure ayant pour effet de diminuer la consommation du charbon ou d'augmenter la vitesse devait donc être très avantageuse; mais une disposition permettant d'obtenir à la fois les deux résultats devait naturellement lui être préférée.

M. le chef mécanicien Augustin nous remit bientôt un projet de transformation de la machine motrice en « machine à haute pression avec condenseur à surface », consistant principalement dans l'installation de deux petits cylindres sur les deux grands de la machine de manière à utiliser de la vapeur à 4^{kg},25, celle-ci agissant d'abord dans les petits cylindres et se détendant ensuite dans les anciens cylindres d'admission. Un condenseur à surface devait en outre remplacer le condenseur par mélange.

M. Augustin estimait qu'il serait alors possible de réduire à 13 tonnes la consommation journalière du charbon et que la vitesse pourrait être en même temps sensiblement accrue, le nombre de tours pouvant être porté de 60 à 70; il croyait ainsi possible d'obtenir, moyennant une dépense ne devant pas dépasser 40.000 francs, une économie très notable sur les dépenses en combustible, gagner un peu de vitesse et, par l'installation d'un condenseur à surface, éviter les incrustations dans les chaudières et, par suite, tout en en prolongeant la durée, diminuer les dépenses d'entretien.

Cette énoncé des résultats que la transformation de la machine motrice devait donner suffit pour montrer tout l'intérêt qui s'y attachait; mais avant de saisir l'administration de ce projet, nous jugeâmes utile de demander au service des constructions navales de vouloir bien l'examiner et nous fournir son avis à son sujet.

Cet avis fut ainsi résumé dans la réponse que nous reçûmes de M. Bienaymé, alors directeur à Toulon :

« Il y a lieu de ne pas laisser l'appareil moteur en l'état où il est; la machine est défectueuse, dépense

trop de vapeur et n'est pas en rapport avec la chaudière qui est neuve et comporte l'emploi d'un moteur compound.

« Transformer la machine serait une médiocre opération; on aurait un engin encore imparfait à cause des parties anciennes conservées et qui ne s'obtiendrait qu'au prix d'une dépense équivalant au moins aux deux tiers d'une construction neuve.

« La solution qui me paraît le plus conforme aux intérêts de votre département est d'acheter une machine neuve qui, si vous la faites de 500 chevaux indiqués (force que donnerait la machine transformée selon le projet de M. Augustin), ne coûtera pas plus de 90.000 fr. Notez que la chaudière est assez puissante pour alimenter une machine de 700 à 800 chevaux et voyez si vous n'auriez pas intérêt, achetant une machine neuve, à la faire plus forte que l'ancienne, ce qui, le cas échéant, permettrait de développer une vitesse supérieure. »

Quelques jours après, M. Bienaymé voulut bien nous adresser l'étude elle-même faite par M. l'ingénieur Gély du projet de M. Augustin et concluant, ainsi que le résumait l'avis donné par M. l'ingénieur Finaz, à la mise en place d'une machine neuve, dont la puissance, 750 chevaux tirage naturel, 1.030 chevaux tirage forcé, correspondrait à celle des chaudières, réduirait de près de moitié la consommation du charbon, augmenterait la vitesse d'un nœud et demi au moins et doublerait le rayon d'action du navire.

Bien que la dépense à prévoir dût s'élever à 125.000 francs au lieu des 40.000 auxquels M. Augustin estimait la réalisation de son projet, nous n'hésitâmes pas à proposer à l'administration, dès le milieu de

juin 1888, de tout au moins admettre le principe du remplacement de l'appareil moteur par un nouvel appareil répondant aux données étudiées par M. Gély. Mais l'année suivante elle ne demanda qu'un crédit de 60.000 francs, lié à celui de l'établissement d'un second câble direct avec la Corse et à celui du remplacement de la chaudière de l'*Ampère*. Une somme de 530.000 francs fut votée par les Chambres en décembre 1889, calculée d'après nos prévisions du mois de mars précédent, évaluant le prix de fabrication, et de pose du câble d'Ajaccio à 430.540 francs, comprenant 20.000 francs d'imprévu, ce qui, avec les 40.000 francs réservés pour la chaudière l'*Ampère*, ne laissait que le crédit de 60.000 francs pour la machine de la *Charente*.

Malheureusement, au cours de l'année 1889, le prix de l'âme du câble qui avait servi à nos évaluations et était dans les premiers mois de 480 francs le kilomètre s'était élevé en moins d'un an à 720 francs ; de ce fait, le prix du câble à poser se trouvait majoré de 80.000 francs, et bien que le câble d'Ajaccio posé en mai 1891, n'ait coûté y compris les lignes souterraines de Toulon et d'Ajaccio et les maisons-guérites que 453.565 francs, la somme restant disponible sur le crédit de 530.000 francs était devenue absolument insuffisante pour songer, sans crédit nouveau, à donner suite au projet de transformation ou de remplacement de la machine motrice et le projet se trouva forcément momentanément abandonné.

La machinerie spéciale et sa valeur au point de vue du relèvement et de la pose des câbles fut aussi pour nous un objet d'étude des plus sérieux dès nos premières campagnes.

A la lecture du compte rendu des opérations de

M. Wunschendorff, sur le câble Marseille-Alger 1871, nous avions été frappés de ce qu'il avait immergé par l'avant et à l'aide de la machine de relèvement deux longues sections dont l'une de $31^{milles},2$; l'immersion par l'avant présentait, en effet, un grave inconvénient qu'il signale lui-même : l'impossibilité, en raison du peu de vitesse de la machine de relèvement, de donner au navire une vitesse suffisante pour pouvoir gouverner facilement et maintenir la route. Mais elle en présente un autre bien aussi sérieux : l'impossibilité de mesurer l'angle d'immersion du câble et par conséquent de donner à celui-ci le *mou* nécessaire. M. Wunschendorff constate que la route parcourue le 20 juin était de $27^{milles},5$ et la longueur de câble immergée de $31^{milles},2$, d'où un mou moyen de 13,5 p. 100, ce qui, pour des profondeurs de 1.000 à 1.500 mètres, était très satisfaisant; mais c'est là simplement un résultat heureux, et s'il y avait des chances pour qu'on n'immergeât pas trop de câble, puisque l'on devait chercher à augmenter la vitesse du navire plutôt qu'à la ralentir, on pouvait arriver à un mou insuffisant par rapport à la profondeur.

Il est, en effet, à remarquer que, dans l'immersion par l'avant, la seule indication que l'on ait pour apprécier les conditions de la pose est fournie par le dynamomètre qui indique la tension; si le câble est filé par des profondeurs uniformes avec une vitesse supérieure à celle du navire, la tension est à peu près constante et égale au poids dans l'eau de la hauteur du câble au-dessus du fond, diminuée de la valeur du frottement de glissement; lorsqu'au contraire la machine qui débite le câble ralentit et tend à devenir inférieure à celle du navire, le câble réagit par l'intermédiaire

du tambour sur le moteur de l'appareil de relèvement qu'il entraîne et la tension indiquée au dynamomètre s'élève très sensiblement. Le dynamomètre ne fournit donc en réalité que cette seule indication ayant de la valeur : le câble est débité à une vitesse supérieure ou inférieure à celle du navire. Dè plus, dans l'immersion par l'avant, le câble s'applique fortement sur la carène du bâtiment et toutes les indications que l'on pourrait avoir se trouvent par ce fait faussées, le frottement de glissement sur les tôles venant en déduction de la tension réellement supportée par la partie du câble suspendue dans la mer.

La solution adoptée par M. Wunschendorff est très pratique lorsqu'il s'agit de combler un vide produit par la simple coupure du câble en un point et nous l'avons nous-même constamment appliquée (*). Mais

(*) Lorsque le câble est soulevé du fond par une grande profondeur,

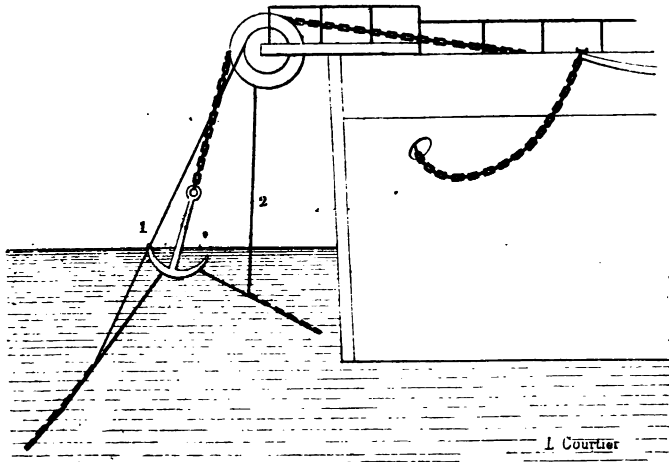


Fig. 23.

nous l'avons vu souvent monter tellement raide sur la chatte qu'il devait avoir quitté le fond sur une énorme longueur et] qu'il était impossible

ayant devant nous l'éventualité de l'immersion de grandes longueurs de câble pour réparer sur tout son parcours le câble Marseille-Alger (1871), et cette fois sans avoir la possibilité de régler nos routes pour retrouver les bouées finales à l'aide des points marquants de la côte, ayant également la presque certitude que nous serions chargés de poser avec la *Charente*

de l'amener en double à bord ; dans ces conditions (*fig.* 23), on est obligé d'envoyer par les poulies de l'avant deux bouts de filin 1 et 2, que l'on frappe sur chacun des côtés du câble de manière à être sûr qu'il ne se produise aucun glissement. La partie intermédiaire du câble, après qu'on a fait effort sur les filins, peut être dégagée de la chatte et le câble coupé, les bouts de filins 1 et 2 servant à mettre chaque côté sur bouée. Lorsqu'on procède à cette opération et que l'un des bouts de câble est rendu libre, on voit la bouée *c* (*fig.* 24) s'éloigner avec une grande vitesse du navire,

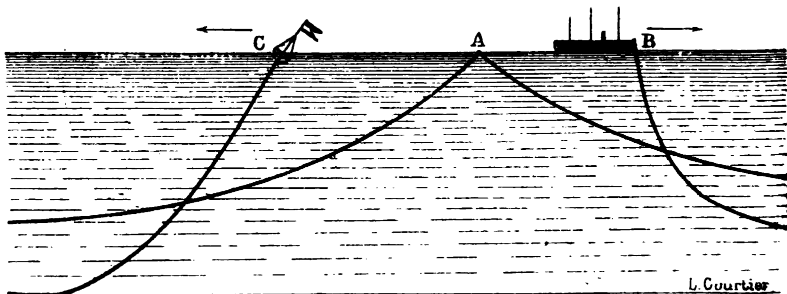


Fig. 24.

tandis que celui-ci évite et est rappelé par l'autre côté du câble, de telle sorte que l'éloignement des points où s'arrêtent la bouée et le navire peut être de 2 à 3 milles pour une profondeur de 2.500 mètres. Pareil fait surprend au premier abord les personnes qui sont étrangères à nos opérations, mais il s'explique très bien si l'on songe que la tension du câble et son poids produisent sur la chaîne un effort de 5.000 à 6.000 kilogrammes et que la tension du câble coupé ne peut devenir nulle qu'au moment où il a repris son lit et où la partie suspendue à la bouée ou au navire est venue à la verticale. Il faut forcément alors que les points A et B soient séparés par un intervalle double de la hauteur du fond.

Ceci suppose que, pour certains motifs, on ait dû fixer la bouée directement sur le câble ; mais il est de bonne règle, pour éviter des accidents

un nouveau câble direct de France en Corse, nous devions étudier par nous-même le parti que l'on pouvait tirer de la machine d'immersion dans les grandes profondeurs et, à son défaut, comment, en utilisant la machine de relèvement, nous pourrions éluder les deux graves écueils signalés : le manque de vitesse nuisant à la direction du navire, l'absence de tout contrôle sérieux du rapport des vitesses du navire et de l'immersion.

Au mois d'août 1889 nous eûmes l'occasion cherchée; ayant relevé au nord des Baléares environ 3.000 mètres de câble d'une valeur électrique très médiocre et étant amené en vue de nos opérations à les faire passer d'une cuve dans une autre, nous décidâmes de les

ultérieurs au câble, de filer à sa suite un filin de bouée *f* en fixant au point d'amarrage un bout de chaîne supportant un champignon *c*, qui servira de

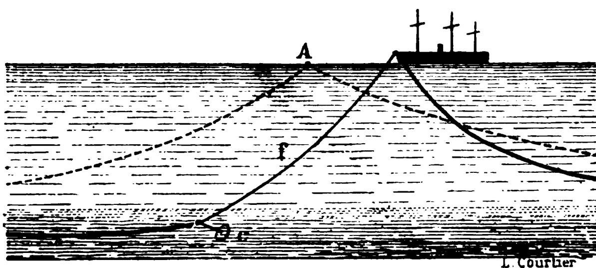


Fig. 25.

point fixe pour empêcher la bouée, sous l'action de la houle ou du vent, de fatiguer le câble; c'est au bout supérieur du filin *f* qu'est alors amarrée la bouée. En ce cas, la tension du filin, mesurée au dynamomètre, diminue progressivement jusqu'à ce que le câble et le champignon reposent sur le fond; mais cette diminution est très lente, car, à mesure que le filin est mis à la mer, l'action de l'autre côté du câble se fait sentir sur le navire, et si, finalement, l'éloignement des deux bouées est très notablement réduit, il n'en existe pas moins et oblige toujours à employer une certaine longueur de câble, comparable à la hauteur du fond, pour opérer la jonction au cours de la réparation.

réimmerger en les filant par l'arrière et de les abandonner. Nous pûmes essayer ainsi le fonctionnement des freins manœuvrés à l'aide d'une chaîne *c* et de la barre de gouvernail B placée auprès du dynamomètre arrière (*fig.* 26). Cet essai nous conduisit à cette conclusion que si le système de freins était très puissant et permettait d'arrêter très rapidement une immersion en mer profonde, en laissant brusquement les poids libres d'agir sur le levier L, il se prêtait mal au réglage de la vitesse d'immersion que nous ne pûmes pas obtenir. En effet, l'immersion étant arrêtée, il fallait, pour que le câble reprît son mouvement de filage à la mer, que la barre fût de nouveau serrée et amenée au point pour lequel l'arrêt avait été jugé nécessaire. Le câble repartait alors, mais une accélération se pro-

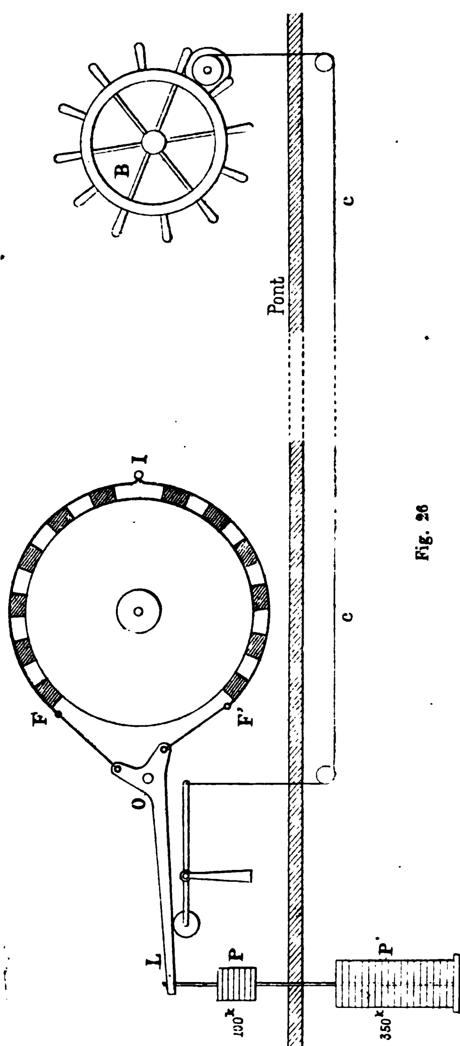


Fig. 26

duisait, qui obligeait de nouveau à rendre les freins libres ; d'où une succession d'arrêts brusques et dangereux pour le câble et l'impossibilité d'arriver à une vitesse uniforme.

Si l'on supprimait l'action de la barre pour obtenir le réglage en faisant varier les poids PP′, on éprouvait de grandes difficultés à faire enlever ou ajouter des poids par suite de l'insuffisance des dispositions prises pour leur manœuvre, et même il y avait à redouter des accidents en raison des ressauts des leviers dus aux réactions des rubans sur les tambours.

Cette expérience nous convainquît promptement du danger qu'il y aurait à entreprendre l'immersion d'un câble en mer profonde avec cette machine de pose. D'autre part, la pose d'une longue section de câble par l'avant présentait de graves inconvénients. Nous fûmes ainsi amenés à adopter la pose par l'arrière en nous servant de la machine de l'avant pour débiter le câble, nous conservant ainsi la possibilité d'apprécier les conditions de pose par l'angle d'immersion, et pouvant, à l'aide du holding-back H, soutenir la machine M (*fig.* 27) pour retenir le câble s'il y avait lieu.

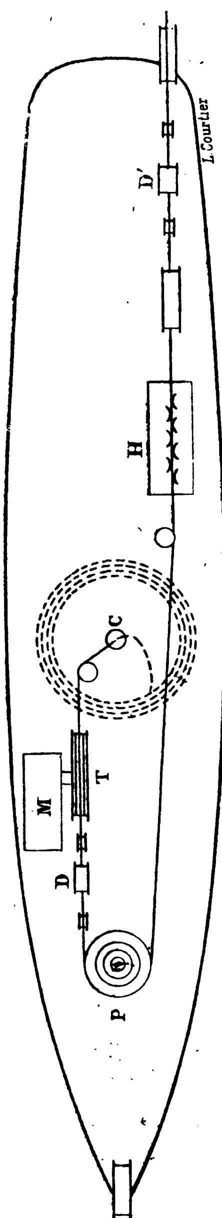


Fig 27.

Le chef mécanicien, M. Augustin, installa sur l'axe du cabestan P une poulie à gorge de grand diamètre sur laquelle devait s'opérer le renvoi du câble à l'arrière, de telle sorte que celui-ci appelé de la cuve par le tambour T passait sous la poulie jockey du dynamomètre, était renvoyé à l'arrière par la poulie P, traversait le holding-back H et filait à la mer après avoir indiqué sa tension au dynamomètre D'.

Si nous entrons dans ces détails, c'est que des poses très importantes, telles que celle du câble de Corse, ont été effectuées dans ces conditions. Ce système ne laissait, en effet, subsister des inconvénients signalés dans le déroulement par l'avant, que celui de l'insuffisance de vitesse empêchant le navire de gouverner sûrement. Néanmoins nous effectuâmes ainsi la pose de deux sections, dont l'une de 48 milles à remplacer sur le câble de Marseille-Alger (1871), et bien qu'elles eussent lieu en pleine Méditerranée, loin de toute côte et simplement de bouée à bouée, le commandant Rapatel put maintenir la route et accoster la bouée à la fin de l'immersion sans la moindre hésitation.

Dans ces deux poses, comme on devait opérer par des fonds variant très peu de 2.600 à 2.800 mètres, nous réglâmes la vitesse de la machine de relèvement débitant le câble de manière à immerger avec un mou de 15 à 20 p. 100; un barême avait été préparé fixant le nombre de tours de la machine du pont par rapport au nombre de tours de la machine motrice; à l'aide du loch mécanique, la vitesse de marche devait être contrôlée à tout instant. En faisant rendre à la machine de relèvement tout ce qu'elle pouvait donner, sans danger, avec l'équipage de roues dentées du déroulement à

grande vitesse, nous arrivâmes à faire mettre le navire et à le maintenir à la vitesse de 4^{noeuds},5.

En comparant après les opérations les longueurs immergées aux distances géographiques parcourues, nous eûmes la preuve que le mou moyen de 18 p. 100 avait été obtenu régulièrement.

Le succès de ces deux opérations nous confirma dans la pensée qu'avec l'outillage de la *Charente*, en lui apportant quelques améliorations peu coûteuses, nous pouvions, sans témérité, entreprendre la pose du nouveau câble de Corse.

L'administration ayant autorisé le renforcement de la machinerie, nous fîmes installer sur la machine de relèvement un nouvel équipage de roues d'engrenage qui avait été étudié par le chef mécanicien et qui devait permettre d'atteindre, sans fatigue pour la machine, une vitesse de débit du câble de 3 mètres à la seconde et permettre ainsi au navire de marcher à la vitesse de 5 nœuds pendant l'immersion en assurant au câble un mou de 18 p. 100. C'est dans ces conditions que fut effectuée la pose du câble de Toulon à Ajaccio et que, quelques mois plus tard, nous remplaçâmes sur le câble d'Alger 1871 une section de 40 milles de longueur dans la partie comprise entre l'Algérie et l'île de Minorque ; mais ce n'était évidemment là qu'un procédé de fortune auquel nous avions recours à défaut d'une machinerie de pose organisée en vue d'une immersion de câble en mer profonde.

Le projet de fabrication et de pose, par le service spécial, des câbles de Marseille à Oran et de Marseille à Tunis avait obligé à envisager l'insuffisance de la *Charente* au point de vue de l'embarquement à son bord d'une grande longueur de câble. La question d'un

navire à grand tonnage et de la machinerie fut ainsi remise à l'ordre du jour; la commission spéciale en fut saisie au mois de septembre 1891, mais elle ne put songer à proposer l'acquisition d'un nouveau navire et dut se borner à tirer de la *Charente* le meilleur parti possible en vue de l'entretien des grands câbles méditerranéens. Elle arrêta en conséquence le programme suivant :

Remplacement du moteur existant par une machine motrice de 800 chevaux avec adjonction d'une chaudière auxiliaire, d'un bouilleur pour production d'eau douce et d'une nouvelle pompe Thirion pour suppléer à l'insuffisance de la pompe existante;

installation d'un servo-moteur sur la passerelle;

remplacement de la machine de relèvement par une machine à deux tambours; remplacement du moteur, modification du dynamomètre avant, installation de poulies guides supplémentaires et d'une troisième poulie à l'avant;

remplacement de la machine d'immersion avec installation d'un moteur de 25 chevaux pour actionner la nouvelle machine; remplacement du dynamomètre arrière.

La commission affectait à ces remplacements et installations une somme de 319.750 francs en y comprenant 21.000 francs pour les travaux de remaniement et de consolidation du pont et de la passerelle.

Elle classait en outre dans une catégorie de travaux de deuxième urgence, l'installation :

de l'éclairage électrique et de dynamos pour commander l'appareil de sondage;

d'un treuil à vapeur à l'arrière;

d'un appareil mobile pour le mouvement des câbles entre les cuves;

enfin de deux compas Thomson;

et affectait à ces nouvelles installations une somme de 24.500 francs.

Mais avant de passer à l'exécution de ce programme, il fallait d'abord avoir toute certitude que la *Charente*, dont la construction remontait à plus de trente ans, présentait encore des conditions de durée et de solidité de nature à justifier un ensemble aussi considérable de dépenses.

Visite et réparation de la coque. — Le remplacement de la machine motrice d'un navire par une autre beaucoup plus puissante ne peut pas se faire sans entraîner une appropriation complète de l'assise de cette machine. Avant la réunion de la Commission, le chef mécanicien nous avait déjà fait connaître qu'en raison de son mauvais état il était nécessaire de renforcer un élongis longitudinal du plan de pose des chaudières, et malgré l'assurance donnée par le service des constructions navales que le navire était en état de recevoir une nouvelle machine et que cette dépense était justifiée, nous jugeâmes utile de profiter du passage de la *Charente* au bassin, au mois d'avril 1892, pour demander qu'il soit procédé à la visite du carlingage de la machine et du plan de pose des chaudières, ainsi que du tube d'étambot et du coussinet d'arrière de l'arbre porte-hélice en prévision de l'installation d'un nouveau propulseur pour machine de 800 chevaux.

Cette visite sommaire donna lieu à l'établissement d'une note dont la conclusion était que les carlingues des machines et des chaudières, et les couples dans le

compartiment des machines, étaient en mauvais état et que si l'on devait installer un nouvel appareil moteur il serait très probablement nécessaire de faire d'assez grosses réparations dans les fonds du bâtiment, réparations dont une visite plus complète après l'enlèvement de la machine actuelle devait seule permettre d'évaluer l'importance.

La réception de cette note, au commencement du mois de juin 1892, ne fut pas sans nous inquiéter. D'une part, en effet, les propositions pour le remplacement du moteur nous étaient demandées d'urgence par l'administration qui se préoccupait d'utiliser dans l'année même les crédits mis à sa disposition, d'autre part, c'était prendre une bien grande responsabilité que de ne pas s'assurer avant tout que les parties du navire qui n'avaient jamais pu être visitées ni sondées en raison des installations intérieures, telles que les cuves à câbles, ne présentaient pas en réalité un état aussi sérieux que celui du compartiment des machines. Nous demandâmes donc, le navire étant alors échoué dans une des formes de l'arsenal, que la visite qui venait d'être faite fût complétée par celle des dessous des cuves et de la cloison étanche de l'avant, ce qui n'avait jamais eu lieu depuis 1874; l'administration prévenue approuva d'ailleurs notre demande.

Les résultats de cette visite montrèrent combien elle était nécessaire, et la conclusion fut qu'une dépense de 40.000 francs était à prévoir pour travaux urgents à exécuter à la coque avant l'installation du nouveau moteur; mais cette évaluation ne pouvait reposer que sur de simples appréciations tant qu'une visite générale et complète, après démontage des aménagements intérieurs, machine, chaudières, cuves à câble, vaigrage

des cales, etc., n'aurait pas été effectuée, permettant de sonder les tôles formant la coque et les membrures, varangues, carlingues, etc. (*).

Le projet de marché que nous adressâmes à l'administration au commencement du mois d'août pour la réparation du fonds de la *Charente* et la fourniture d'un appareil moteur avec divers accessoires ne put, par suite, fixer un prix à forfait de ce travail, mais dut admettre que son exécution aurait lieu en régie. Il stipulait que la réparation des parties basses intérieures, couples et carlingues, serait exécutée sur toute la longueur du navire; qu'à cet effet les cuves à câble et toutes les installations pouvant entraver l'exécution du travail seraient démontées; qu'aussitôt que le travail de démontage le permettrait, il serait procédé à l'établissement d'un état descriptif avec plan à l'appui de toutes les réparations à faire, en distinguant celles à faire d'urgence de celles qui, au contraire, pourraient être négligées, en admettant que la durée du navire serait fixée à une période de dix ans. Cet état, qui devait être révisé par un ingénieur de la marine,

(*) La *fig.* 28 ci-dessous permet de se rendre compte de la signification

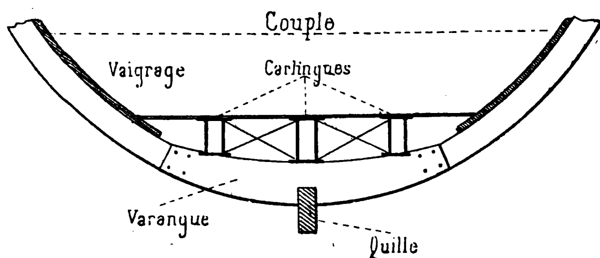


Fig. 28.

des termes techniques employés pour définir les différentes parties de la membrure d'un navire.

ferait connaître la valeur approximative des travaux à exécuter et serait ensuite soumis à l'approbation du Ministre pour servir de base à l'exécution.

Le marché passé avec la Société des forges et chantiers de la Méditerranée reçut l'approbation ministérielle le 20 janvier 1893, et le navire fut livré à la Société le 27 du même mois.

Dès le 18 mars nous pûmes transmettre à l'administration l'état descriptif prévu au marché et arrêté par les ingénieurs de la marine chargés du contrôle des travaux. Le montant des réparations était évalué à la somme de 25.000 francs à laquelle il fallait ajouter les frais à forfait de halage sur la cale et de lancement, et ceux du démontage et du remontage des aménagements intérieurs, en tout environ 40.000 francs.

Cet état descriptif reçut l'approbation ministérielle le 17 avril; le 11 août, la Commission, chargée de recevoir les travaux, constatait que les fonds du bâtiment étaient remis en bon état de solidité, que le bordé, la membrure et les carlingues ne présentaient plus de points faibles, et qu'en conséquence le navire pouvait être remis à l'eau, ce qui eut lieu immédiatement. Dans une seconde visite effectuée le 7 novembre, la Commission reconnaissait l'étanchéité parfaite de la cale et prononçait la réception définitive de l'ensemble des travaux de la coque.

La *Charente*, comme la plupart des premiers navires construits tout en fer, était d'un échantillon présentant des garanties de solidité qui surprirent presque les ingénieurs chargés de sa réparation : les couples étaient très rapprochés les uns des autres, à une distance moitié de celle qui est admise aujourd'hui; les tôles elles-mêmes formant la carène avaient une grande

épaisseur. Aussi si la suppression des points affaiblis des couples et des carlingues et le remplacement des tôles amincies pour des causes diverses en plusieurs endroits a entraîné une dépense totale de 57.967f,79, au lieu de celle de 25.000 francs qui avait été prévue; si, en outre, le démontage et le remontage des cuves et des aménagements intérieurs a coûté 21.362f,53, l'administration n'a pas eu à regretter d'avoir entrepris la mise en état de la *Charente*, car ce navire peut aujourd'hui fournir une nouvelle carrière de quinze à vingt années et le jour où il sera reconnu qu'il ne suffit plus aux travaux des grands câbles de la Méditerranée, il sera un instrument parfait dans la Manche pour la réparation des câbles franco-anglais.

Machine motrice. — D'après le projet de marché qu'elle avait établi dès le mois de juillet 1892, la Société des forges et chantiers de la Méditerranée s'engageait à construire et à installer à bord de la *Charente* un appareil moteur du système compound à deux cylindres actionnant directement l'hélice, une machine auxiliaire de servitude actionnant une pompe à air et une pompe rotative de circulation devant servir aussi bien à la machinerie spéciale du pont qu'à la machine motrice, enfin une machine alimentaire pour l'alimentation des chaudières.

La machine principale à pilon devait comprendre deux cylindres fixes, inégaux, conjugués sur un arbre moteur à deux coudes, en deux parties semblables. La vapeur, introduite d'abord dans le petit cylindre, devait y fonctionner et se détendre ensuite dans le grand cylindre d'où elle serait évacuée dans un condenseur par surface. La machine était entièrement construite

de manière à pouvoir utiliser de la vapeur à la pression de 6 kilogrammes pour le cas où de nouvelles chaudières seraient installées ultérieurement.

La machine de servitude devait être à pilon compound, à deux cylindres superposés et actionner la pompe à air par des balanciers et la pompe rotative de circulation directement par son arbre.

La ligne d'arbres et l'hélice devaient être remplacées ainsi que le tube d'étambot.

Enfin la Société fournissait une machine alimentaire du système Thirion, à deux cylindres et deux corps de pompe capable de débiter 12.000 litres par heure, et un bouilleur destiné à réparer les pertes d'eau douce des divers appareils fonctionnant avec la vapeur des chaudières et évacuant à volonté à la bâche d'alimentation ou au condenseur.

La puissance maxima prévue était de 800 chevaux et la vitesse moyenne du bâtiment ne devait pas être inférieure à 10 nœuds, la machine étant lancée avec les valves ouvertes en grand et les feux poussés de manière à faire produire aux chaudières toute la vapeur qu'elles pourraient fournir, l'introduction dans le cylindre d'admission étant réglée, au plus, au soixante-huit centièmes de la course du piston.

En outre, la machine développant en route libre une puissance de 500 à 550 chevaux, la consommation de charbon par cheval indiqué et par heure ne devait pas dépasser 950 grammes.

Les engagements pris par la Société des forges et chantiers répondaient donc à peu près au programme de la Commission, c'est-à-dire à celui qu'avaient indiqué en 1888 les ingénieurs de la marine.

Deux voies étaient ouvertes pour l'exécution de ce

marché : l'une suivie quelques années auparavant pour le remplacement de la chaudière de l'*Ampère* consistait à demander à la marine de faire exécuter le travail sous sa surveillance, l'autre à nous en rapporter entièrement à la Société des forges et chantiers et à admettre la fourniture d'un moteur type commerce. Dans le premier cas la Société demandait un prix de 192.150 francs et un délai de dix mois, dans le second elle réduisait le prix à 177.950 francs et ne demandait qu'un délai de huit mois et demi.

Or, d'une part, le service des constructions navales était surchargé et, d'autre part, il nous semblait qu'en s'adressant à une industrie offrant toutes les garanties possibles, qui livre journellement aux grandes compagnies de navigation les magnifiques paquebots où cargo-boats qui leur permettent de tenir un si haut rang dans la grande navigation, il était bien inutile de vouloir remplacer une machine construite en Angleterre, sans la surveillance des ingénieurs de la marine, et qui avait duré trente ans, par une machine construite comme celle de nos navires de guerre; celles-ci, en raison des services qu'on en attend, doivent faire l'objet d'une surveillance minutieuse tant au point de vue de la réception des matières premières qu'à celui du fini de la construction. Nous proposâmes donc à l'administration de traiter pour l'installation d'une machine type commerce avec les conditions de réception stipulées en pareil cas. Nos propositions furent admises et le marché ainsi établi fut approuvé par le ministre le 20 janvier 1893.

La confiance témoignée à la Société des forges et chantiers a été grandement justifiée, ainsi que l'ont prouvé les essais et deux campagnes faites en 1894.

Dans les essais préliminaires auxquels la Commission de réception (*) avait assisté, le moteur développant moins de 550 chevaux imprima au navire une vitesse de 10^noeuds,5 à 80 tours; dans les essais au cours desquels on fit donner à la machine son maximum d'effet à l'allure de 92 tours, on obtint la vitesse de 11^noeuds,025 malgré un temps défavorable et une mer un peu houleuse.

Dans ces essais à toute vitesse, les valves étant ouvertes en grand et l'introduction de la vapeur réglée au soixante-huit centièmes de la course du piston, la consommation de charbon resta inférieure à 850 grammes pour un développement de puissance de plus de 800 chevaux, c'est-à-dire qu'elle fût inférieure au maximum fixé pour celle en marche normale.

Au cours de ses campagnes, en 1894, la *Charente* a franchi en 9 heures 25 minutes les 98 milles qui séparent le cap Ferrat du cap Corse, c'est-à-dire à une vitesse moyenne de 10^noeuds,4, la machine développait alors environ 550 chevaux et donnait 80 tours à la minute.

Le retour de Tunis à Toulon, 452 milles, s'effectua en 42 heures, soit à la vitesse moyenne de 10^noeuds,75 sans qu'on ait forcé la machine.

L'appareil moteur d'un navire télégraphique doit pouvoir maintenir une allure très ralentie, 18 à 20 tours pour rendre les dragages possibles. Les essais faits spécialement dans le but de constater la possibilité de marcher à 1 nœud ou 1 nœud 1/2 et les travaux exé-

(*) Cette commission, présidée par M. Morris, chef du service des câbles sous-marins, était composée ainsi qu'il suit :

MM. Dupont, ingénieur de la marine; Deries, inspecteur-ingénieur des télégraphes; Sicard, commandant, et Augustin, chef mécanicien de la *Charente*.

cutés en 1894 ont montré qu'à ce point de vue encore, ainsi qu'au point de vue de la rapidité de la mise en train et du changement de marche, le nouveau moteur ne laissait rien à désirer.

On peut donc dire que la question du moteur de la *Charente* a reçu une solution entièrement satisfaisante puisqu'on ne demanderait pas davantage au moteur d'un navire neuf, et nous sommes heureux d'avoir ici l'occasion de remercier M. Madamet, directeur des ateliers de Marseille, et tous ses collaborateurs, en particulier M. l'ingénieur d'Hauthuille, des soins qu'ils ont apportés à l'exécution de leurs engagements. Nous remercions également M. Lagane, directeur des ateliers de la Seyne, et M. l'ingénieur Rimbaud, à qui nous devons aujourd'hui, à la suite des travaux de réparation et de transformation du navire, de nous avoir rendu une confiance que l'âge avancé de la *Charente* avait quelque peu ébranlée.

Le changement de l'appareil moteur entraîna diverses modifications ou améliorations parmi lesquelles nous devons citer le remplacement des soupapes de sûreté, par suite de l'emploi de la vapeur à la pression de $4^{kg},25$ et celui des peet-valves en fonte par des peet-valves en bronze.

Le remplacement du transmetteur d'ordres système Godron s'imposa par suite de l'impossibilté où nous nous trouvâmes de le réinstaller dans la chambre de la machine; il fut avantageusement remplacé par un transmetteur du système Chadburn and son déjà installé sur bon nombre de bâtiments de la marine nationale : *Watignies*, *Charner*, *Cécille*, à bord desquels il avait donné les meilleurs résultats.

La machine de servitude fonctionnant d'une manière

continue, la mise en marche de l'appareil moteur ne pouvait plus être contrôlée de la passerelle du commandement par la vue de l'évacuation à la mer de l'eau du réfrigérant; nous proposâmes alors à l'administration, sur la demande du commandant, de faire l'acquisition d'un *indicateur de marche*, employé déjà sur plusieurs bâtiments du commerce et de la marine de l'État et imaginé par M. Lambinet, ingénieur de la compagnie des transports maritimes à Marseille. Cet indicateur, reproduisant sur un cadran installé sur la passerelle les mouvements de la tige du piston d'un des cylindres, permet de voir constamment si la machine motrice est en marche et dans quel sens elle fonctionne. Cette indication nécessaire au commandement dans un grand nombre de cas, ne l'est pas moins au point de vue du travail des câbles lorsqu'on drague et qu'il y a intérêt à stopper ou à renverser la marche du navire. Nous fûmes autorisé à en faire l'acquisition du reste peu coûteuse.

Enfin, comme organe mécanique mis en mouvement par la vapeur des chaudières, nous fîmes installer, suivant le programme de la Commission spéciale, un *servo-moteur* pour gouverner à l'aide de la vapeur et réduire le nombre des hommes de barre. Ce servomoteur, construit par la maison Stapfer de Duclos et Cie de Marseille avec laquelle nous nous étions mis en rapport, fut installé par les soins de la Société des forges et chantiers.

Installations diverses. — Avant de décrire la nouvelle machinerie spéciale du pont nous indiquerons, pour en terminer avec le navire, les diverses installations qui ont achevé de le mettre dans de bonnes conditions, soit

en vue de la navigation, soit pour faciliter le service spécial des câbles à bord.

A l'intérieur, une nouvelle cloison étanche a été construite à l'avant, qui serait d'un précieux secours en cas d'abordage.

La construction de cette cloison n'ayant pas permis de remonter l'ancienne glacière, d'ailleurs de proportions insuffisantes par rapport aux besoins de l'équipage au cours de nos campagnes sur les grands câbles, nous profitâmes de cette circonstance pour faire installer une nouvelle glacière plus spacieuse et offrant plus de ressources pour la conservation des vivres frais.

Le démontage des caisses à eau en vue de la visite et de la réparation de la coque, rendit opportun leur remplacement déjà prévu depuis plusieurs années au titre de l'entretien, mais devant lequel on avait reculé en raison de la difficulté de les faire sortir de la cale sans toucher aux autres aménagements.

Sur le pont, on a profité de la construction d'un roof R (*fig.* 29) surmontant la chambre de la machine motrice pour installer des barres de théorie BB destinées à recevoir le canot en tôle C′ à compartiment étanches et le canot à vapeur V.

De nouveaux porte-manteaux ont été placés à tribord en avant de la passerelle pour supporter le canot major C qui peut ainsi, en cas de gros temps, de même que le youyou Y et les grosses bouées *bb*, être amené à l'intérieur au-dessus du pont, de telle sorte que la baleinière H et le second youyou Y′ restent seuls suspendus en dehors à la hauteur de la dunette.

La passerelle centrale a été allongée vers l'avant et l'ancien kiosque remplacé par un autre beaucoup plus vaste K à trois chambres, l'une à l'avant qui abrite

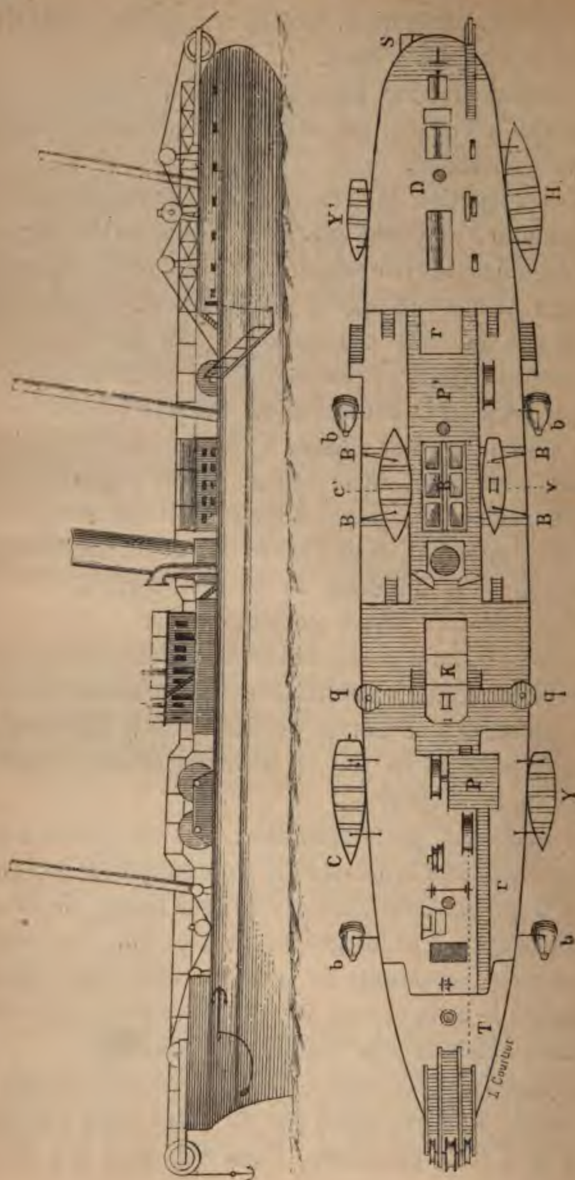


Fig. 29.

le servo-moteur et la timonerie, une autre centrale pour le commandant et l'officier de quart, le troisième à l'arrière pour les ingénieurs de service.

La passerelle centrale se trouve prolongée vers l'avant par une plate-forme P abritant la machine de relèvement et est reliée au gaillard d'avant par l'ancienne passerelle longitudinale *p* que nous avions installée en 1889. A l'arrière, une double communication avec la lunette D a lieu par des passerelles longitudinales à bâbord et à tribord du roof de la machine et la plate-forme P′ qui protège la machine d'immersion.

Ces dispositions procurent au service à très peu près les avantages des spare-deck des navires modernes.

Le transmetteur d'ordres et l'indicateur de marche sont à la vue du commandant, à la partie avancée de la passerelle en avant du kiosque; deux compas dits demi-Thomson sont placés l'un dans cette même avancée, l'autre sur le kiosque.

Enfin, une passerelle transversale *qq* établie à hauteur du plancher supérieur du kiosque facilite le commandement en permettant de se rendre compte de la position des embarcations mises à l'eau le long du bord et de celle des bouées que l'on veut accoster. Les feux de position de même que deux taximètres ont été installés aux extrémités de la passerelle transversale *q q*.

La *Charente* se trouve ainsi, au point de vue de la navigation, mise à hauteur de tous les perfectionnements réalisés à ce jour.

Machine de relèvement. — L'appareil de relèvement qui a été remplacé comportait une machine à vapeur d'une puissance de 80 chevaux M (*fig.* 30); l'arbre des

manivelles *a* commandait un second arbre *b* à l'aide de deux roues d'engrenages 1 et 2; l'arbre *b* pouvait lui-même entraîner un troisième arbre *c* à l'aide de l'un des jeux de roues dentées 3 et 4 ou 5 et 6 et par suite, par l'intermédiaire du pignon 7 et de la grande roue 8, mettre en mouvement l'arbre *dd* portant le tambour T, un frein *f* et une poulie à gorge *g* qui, par l'intermédiaire d'une chaîne communiquait le mouvement à un système *ss* destiné à entraîner le filin quittant le tambour dans le relèvement.

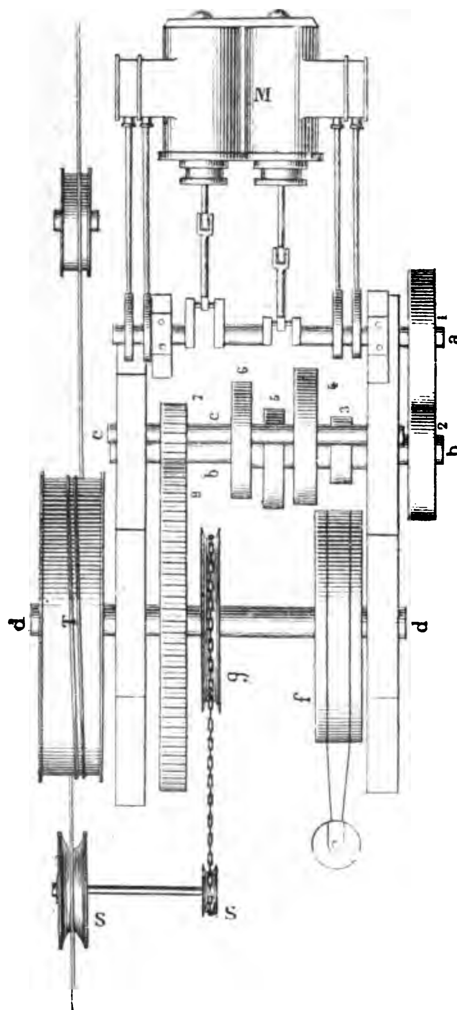


Fig. 30.

Les roues 3 et 5 étaient portées par un manchon qui pouvait glisser sur l'arbre *b* et

lui être fixé par une clavette de manière à mettre en prise à volonté les roues 3 et 4 ou 5 et 6, et permettre d'obtenir deux vitesses angulaires différentes pour le tambour, le nombre des dents des roues étant différent.

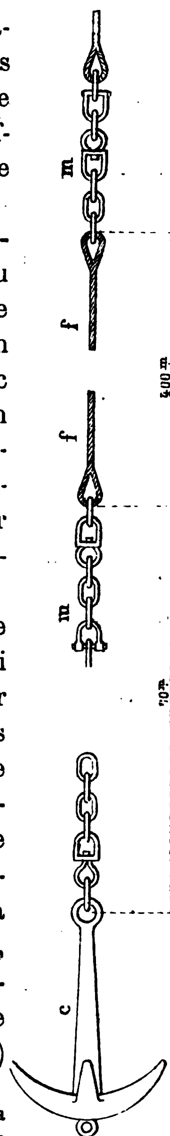


Fig. 31.

En outre, on pouvait, suivant la nature des opérations, remplacer le jeu d'engrenages 1 et 2 par deux autres de diamètres différents, de telle sorte qu'en combinant l'un des trois jeux 1 et 2 avec l'un des deux jeux 3 et 4 ou 5 et 6, on obtenait six vitesses différentes du tambour donnant un filage à la mer ou un relèvement variant de 0^m,16 à 2^m,20 par seconde, l'effort exercé variant évidemment en raison inverse de la vitesse.

Les considérations de vitesse de filage à la mer ont une grande importance si l'on songe au temps nécessaire pour immerger une drague par 2.500 mètres de fond, puisqu'à la vitesse de filage de 0^m,16 par minute, cette opération demanderait 4^{heures},20, tandis qu'à celle de 2^m,20, il ne faudrait plus que 19 minutes; mais, en variant les vitesses à mesure que la profondeur augmente, on peut partir d'une vitesse relativement grande et la réduire à mesure que le poids de la drague déjà immergée (*)

(*) Les dragues (*fig.* 31) dont sont pourvues la *Charente* et l'*Ampère*, sont formées de longueurs de filin mixte acier et chanvre, de 400 mètres pour le premier de ces navires

devient trop considérable et assez puissant pour entraîner la machine elle-même. Voici quelques exemples de filage de la drague à la mer relevés sur nos carnets de travail en 1889 et 1890 sur le câble Marseille-Alger (1871) :

Profondeur,	2.515^m;	durée de l'immersion,	1^h,20;	vitesse moyenne,	0^m,52.
—	2.960^m;	—	1^h,22;	—	0^m,60.
—	2.450^m;	—	1^h,15;	—	0^m,54.
—	3.000^m;	—	1^h,50;	—	0^m,45.

Mais si nous prenons le second exemple, nous constatons que les 860 premiers mètres ont été déroulés en 12 minutes et les 2.100 mètres suivants en 70 minutes, c'est-à-dire avec des vitesses moyennes de 1^m,20 et de 0^m,50, la tension relevée au dynamomètre ayant atteint à la fin de l'immersion de la première section 2.250 kilogrammes.

Le travail utile du moteur au tambour étant d'en-

et de 60 mètres pour le second. Ce filin pèse dans l'air 2^{kg},135 et dans l'eau de mer environ 1^{kg},500. Les bouts de filin sont terminés par des cosses et reliés par des maillons comportant un émerillon pour détruire les effets de torsion.

Le filin de drague porte à son extrémité inférieure une certaine longueur de chaîne de 18 millimètres, qui est pour les grandes profondeurs de 60 mètres sur la *Charente*, la chaîne est terminée par la chatte *c*. Les maillons de jonction pèsent 10 kilogrammes, la chaîne 440 et la chatte de 90 à 120 kilogrammes. On peut réduire dans l'eau de mer de 1/7 environ le poids des maillons des chaînes et de la chatte, de telle sorte que la tension au dynamomètre, pour une profondeur de 2.500 mètres, devrait être de :

6 sections de filin, 600^{kg}.	3.600^{kg},00
6 maillons de jonction, 8^{kg},570 . . .	51 ,420
60 mètres de chaîne.	377 ,00
Chatte	110 ,00
	4.128^{kg},420

La tension, mesurée dans un grand nombre d'opérations, a toujours été trouvée un peu inférieure à ce nombre, environ 4.000 kilogrammes, parce qu'il faut tenir compte du frottement contre l'eau dans le mouvement de descente, frottement qui vient en déduction du poids.

viron 4.000 kilogrammètres, on voit que si l'on avait déroulé, à partir de 2.500 mètres, à la vitesse de 1 mètre avec la tension de 4.000 kilogrammes, on aurait atteint le point limite à partir duquel la drague eût entraîné la machine, une accélération dont on n'eût plus été maître se fût produite et eût exposé à de graves accidents.

Mais les changements de vitesse avaient un très grave inconvénient; sans changer le jeu des roues dentées 1 et 2, en se bornant à commencer le filage avec le jeu 5 et 6, on devait lui substituer, après 800 mètres d'immersion environ, le jeu 3 et 4 pour avoir une retenue suffisante. Or, cette opération ne pouvait s'effectuer sans qu'on supprimât l'action du filin sur le tambour, ce qui oblige à *bosser* (*) le filin à l'avant et entraîne une perte de temps. Enfin, le changement des jeux de roues dentées 1 et 2 auquel on avait recours le moins souvent possible, exigeait un véritable travail mécanique et des manœuvres de force demandant 20 à 25 minutes.

L'appareil de relèvement ne possédant qu'un seul tambour, certaines manœuvres, lorsqu'on avait à manœuvrer successivement deux filins ou un filin et un côté d'un câble, étaient extrêmement compliquées. Il

(*) Pour bosser un câble ou un filin ABC (*fig.* 32), on frappe sur ce câble ou ce filin des bosses 1, 2, 3, bouts de cordage dont une extrémité est fixée à des boucles en différents points du pont. Cette opération faite, le câble ou le filin n'agit plus dans la partie AD en arrière des bosses.

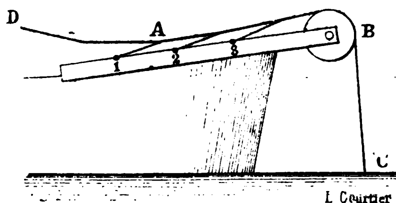


Fig. 32.

fallait alors bosser à l'avant celui des deux qui était enroulé sur le tambour, dégarnir celui-ci et le regarnir avec le second filin ou le câble. Or, tout gain de temps dans les opérations de câble ne saurait être négligé ; bien souvent, dans nos travaux, nous avons dû les suspendre par suite de brusques changements de temps, alors qu'avec une heure ou deux de plus de mer maniable le succès était assuré.

Enfin, le moteur de la machine de relèvement ne comportait pas l'emploi de vapeur à plus de 2 kilog. ; le maintenir quand on changeait celui du navire en vue d'utiliser complètement les chaudières timbrées à 4^{kg},250, c'était se mettre dans l'obligation de faire détendre la vapeur avant son admission dans les cylindres et se priver de tous les avantages qu'offrait l'installation d'un condenseur à surface ; on eût dû continuer à faire dégager la vapeur à l'air libre sur les flancs du navire, ce qui souvent gênait les manœuvres et le commandement.

Ces considérations, un peu rétrospectives, sur les inconvénients présentés par l'ancienne machine de relèvement étaient nécessaires pour montrer combien, malgré la dépense que son remplacement devait entraîner, la décision prise à ce sujet par la commission spéciale était justifiée.

Au mois d'avril 1892, nous fûmes autorisés à nous rendre en Angleterre pour étudier sur place l'outillage des câbles et nous eûmes la bonne fortune de pouvoir visiter le *Silvertown*, embarquant le câble destiné à prolonger les communications sous-marines de l'Amérique du Sud. Nous pûmes examiner avec soin la machine de relèvement à deux tambours de ce navire. Cette machine, beaucoup plus simple que celle de la

Charente, ne comportait qu'un seul équipage de roues dentées; nous en établîmes le croquis immédiatement après notre visite. Ses dispositions principales sont reproduites (*fig.* 33). Cette machine, installée sur le pont, est vue à travers une échancrure pratiquée dans le spare-deck; elle est établie symétriquement par rapport à l'axe du navire. Le moteur est dans l'entrepont au-dessous de la machine même; l'arbre à manivelles porte un pignon qui commande la grande roue dentée 1. L'axe de celle-ci porte deux pignons p et p' qui sont en prise avec deux grandes roues dentées r et r' fixées chacune sur l'axe de l'un des tambours. Deux freins à ruban i et i' commandés par deux fortes tiges et roues t et t' permettent au chef de manœuvre de régler la vitesse des tambours. Les variations de vitesse de déroulement sont d'ailleurs obtenues simplement en faisant varier l'introduction de la vapeur. Le moteur a une puissance de 120 chevaux. A l'aide d'embrayeurs, on peut à volonté faire actionner par le moteur l'un ou l'autre des tambours.

L'examen de cette machine ne fut pas sans nous procurer une vive satisfaction; depuis longtemps, en effet, nous nous demandions s'il ne serait pas possible de supprimer tous ces jeux d'engrenage dont la machine de la *Charente* était dotée et que nous avions nous-même compliqués encore par l'adjonction de deux nouvelles roues 1 et 2 en vue d'obtenir une vitesse de déroulement plus grande pour les immersions. Nous songions à ces machines si puissantes, aux locomotives qui permettent de faire un effort énorme au démarrage des trains et qui, le train une fois lancé, ne demandent plus que l'effort nécessaire pour entretenir le mouvement, qui développent une nouvelle force pour

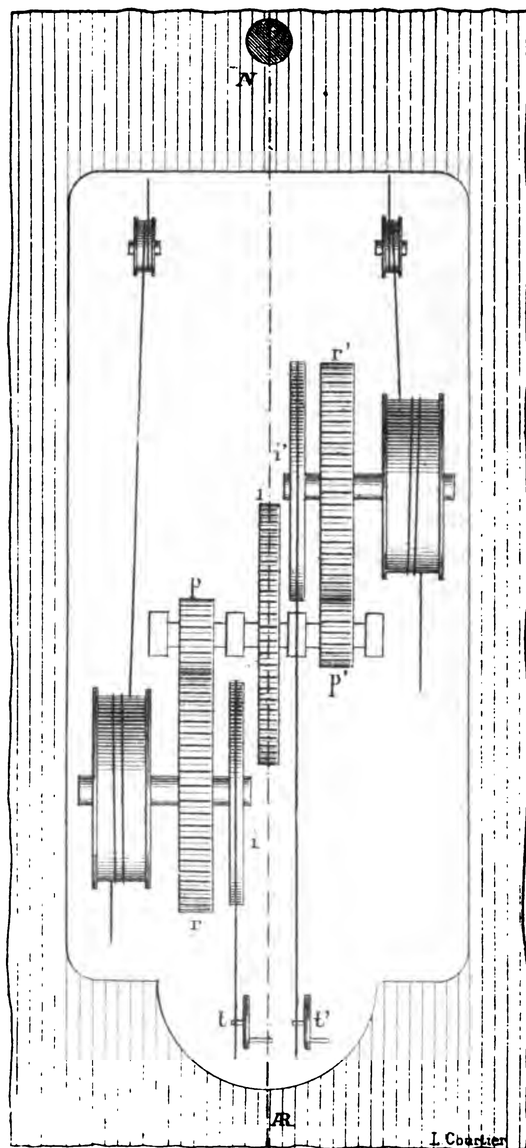


Fig. 33.

lui faire franchir les rampes et au besoin le retiennent à la descente.

Nous donnâmes alors à la Société des forges et chantiers le programme suivant : étudier une machine à deux tambours indépendants à installer symétriquement par rapport à l'axe du navire avec un moteur de 80 chevaux permettant d'obtenir à volonté un effort de 10.000 kilogrammes à la vitesse de relèvement de 10 à 12 mètres par minute ou un effort de 1.000 kilogrammes à une vitesse de 50 mètres et, par suite, par le réglage de l'introduction de la vapeur, des efforts intermédiaires pour des vitesses intermédiaires. N'ayant plus à nous préoccuper de faire fonctionner la machine avec une vitesse de déroulement correspondante à celle de l'immersion d'un câble, la machine devait se trouver dans de bonnes conditions pour le filage d'une drague à la mer et pour le relèvement d'un câble (*).

(*) Lorsque la drague est mise à la mer, la tension mesurée au dynamomètre s'élève régulièrement jusqu'au moment où la chatte et la chaîne viennent à reposer sur le fond. On constate à ce moment une diminution de la tension de 300 à 400 kilogrammes, et c'est une précieuse indication pour juger de la profondeur. Le navire a été mis en marche à très petite



Fig. 34.

allure quelques instants auparavant en se basant sur les sondages obtenus à l'aide de l'appareil Thomson ; cette précaution a pour but d'éviter le lovage du filin sur lui-même et par suite de faire des coques pendant le dragage. On continue à filer une certaine longueur de drague pour constituer une touée qui repose sur le fond et permet à la chaîne et à la chatte (*fig.* 34) de pénétrer dans le sable ou la vase pour y aller saisir le câble, s'il est enlisé,

Le projet que M. l'ingénieur d'Hauthuille nous soumit au mois de juillet 1892, satisfaisait complètement à ce programme en ce qui concernait le moteur, puisque, d'après la spécification, le nombre de tours de

ce qui arrive le plus souvent. La tension, pendant cette dernière partie du filage, reste à peu près constante, si le fond est uniforme, ce qui, par les grandes profondeurs, se produit généralement. Lorsque la chatte rencontre le câble, elle éprouve naturellement un moment d'arrêt; le filin raidit et le dynamomètre indique une augmentation de tension continue, le câble opposant une résistance de plus en plus grande à mesure qu'il se dégage de la vase ou du sable. A ce moment, le navire ne gouverne plus, il est mouillé et on le voit abattre sous l'action du vent ou du courant, c'est un nouvel indice à peu près certain que le câble est saisi et on fait stopper la machine. La tension indiquée par le dynamomètre descend et devient bientôt égale au poids dans l'eau d'une longueur de drague égale à la hauteur au-dessus du fond; on procède alors au relèvement et la tension remonte bientôt au chiffre qu'elle avait atteint quand l'ordre de stopper avait été donné. A partir de ce moment (*fig.* 35), elle monte progressivement tant que la chaîne

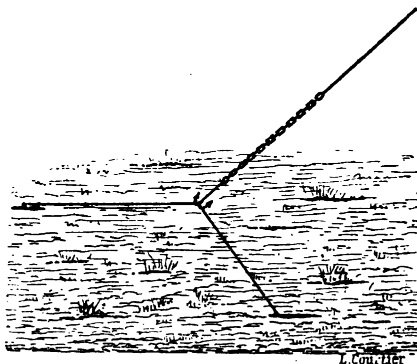


Fig. 35.

et la chatte ne sont pas soulagés du fond et que le câble n'est pas dégagé sur une assez grande longueur, pour que le poids du double de sa hauteur vienne seul s'ajouter au poids de la drague.

Nous donnons ici deux exemples de relèvement, l'un effectué le 17 juillet 1889, par 2.516 mètres de profondeur :

Le 16, à 8h,30 matin, mise à l'eau de la chatte.

9h,50 matin, 2.516 mètres immergés; la tension, qui était montée à 4.000 kilogrammes, tombe à 3.600.

10h,15 matin, longueur de drague à la mer, 2.850 mètres; le dra-

l'arbre moteur variant de 35 à 153, ce qui correspondait à des vitesses de relèvement de 10 et 50 mètres à la minute, l'effort correspondant sur le filin variait de 10.000 à 1.000 kilogrammes. De plus, il prévoyait, en raison de l'installation éventuelle de nouvelles chaudières, l'emploi possible de vapeur à la pression de 6 kilogrammes.

La machine de relèvement proprement dite ne comportait que les engrenages strictement nécessaires et reproduisait absolument la machine correspondante du *Silvertown;* mais le moteur était, comme les équipages et le tambour, installé sur le pont, les cuves à câble de la *Charente* se trouvant précisément au-dessous du seul emplacement à affecter à la machine de relèvement. M. d'Hauthuille avait été forcé de la loger entre

gage à lieu de l'est à l'ouest, la tension oscille entre 4.000 et 4.400 kilogrammes;

9h soir, on a dépassé le tracé du câble.

Le 17, à 12h,15 matin, on stoppe pour relever et virer de bord.

1h,25, on a relevé 100 tours; la chatte ne touchant plus le fond, on vire de bord pour draguer au N. 80° E.

2h, la chatte remise au fond, on recommence à draguer.

3h, le dynamomètre monte à 5.500; le navire abat.

On relève :

3h,50 matin, 80 tours de tambour relevés; la chatte est soulagée du fond, la tension reste fixe à 5.500.

4h,40 matin,	160 tours relevés;	tension,	5.500.
5h,50 —,	303 —	—	5.900.
6h,36 —,	381 —	—	6.200.
7h,5 —,	la chaîne apparaît,	—	6.300.
7h,15 —,	le câble est hors de l'eau,	—	6.300.

On voit qu'on a mis 30 minutes, de 6h,35 à 7h,5, pour relever 660 mètres à la tension de 6.300 kilogrammes, c'est-à-dire que la vitesse était de 0m,37 par seconde et le travail produit de $0,37 \times 6.300 = 2.351$ kilogrammètres.

Second exemple, 2 septembre 1891 :

De 7h,15 à 10h,15, drague immergée, 3.150 mètres; la tension est montée à 7.000 kilogrammes, en prenant la vitesse moyenne de 0m,29 par seconde le travail maximum de $0,29 \times 7.000 = 2.030$ kilogrammètres. La profondeur était de 2.800 mètres et le câble assez fortement enlisé.

les bâtis supportant les arbres, ce qui imposait un écartement considérable entre les tambours.

Cet écartement sur un navire ayant les dimensions du *Silvertown* était sans inconvénient ; sur un navire bien moins long, comme la *Charente*, il ne pouvait être admis parce que l'obliquité du câble ou des filins quittant les tambours pour gagner les poulies de l'avant était beaucoup trop accentuée. M. d'Hauthuille avait dû, dans son projet, prévoir l'installation de poulies de retour sur le gaillard d'avant qui eussent obligé le câble et les filins à subir des changements brusques de direction. La première conséquence de cette disposition eût été d'occasionner de nombreuses ruptures des fils de fer formant l'enveloppe protectrice des câbles ou des fils d'acier qui constituent la force de résistance des filins. De plus, les indications fournies par les dynamomètres eussent été faussées en raison des frottements considérables sur les poulies de retour. Enfin, la position des tambours eût été très défavorable à l'enroulement des câbles sortant de la cuve centrale ou de la cuve avant.

Ces considérations nous ont conduit à rechercher une disposition qui, tout en permettant d'utiliser l'étude faite par M. d'Hauthuille, répondît entièrement aux exigences des manœuvres à bord. La figure 36 la reproduit. La machine ne se trouve plus placée symétriquement par rapport à l'axe du navire, mais les deux tambours T et T′ en sont placés très près, l'un à tribord, l'autre à bâbord. L'inconvénient occasionné au point de vue du chargement du navire est compensé par l'avantage qu'il présente de laisser libre à tribord une vaste place d'armes pour la confection des épissures ; elle existait auparavant à bâbord.

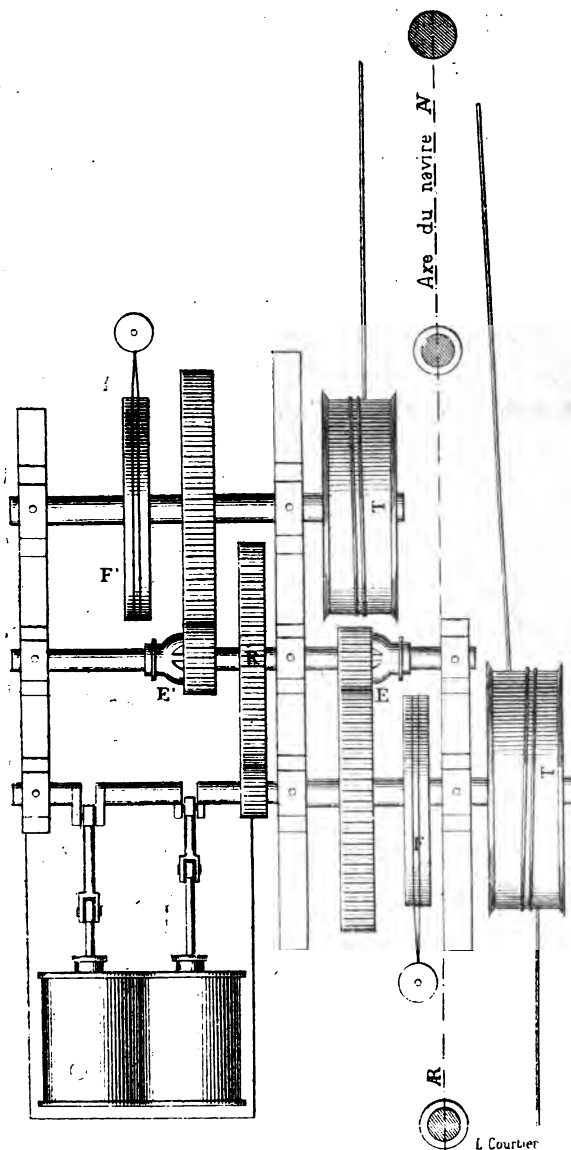


Fig. 36.

La machine placée symétriquement par rapport à l'axe n'eût laissé, ni d'un bord ni de l'autre, autant de largeur et, par conséquent, de facilités pour certaines manœuvres.

De plus, la combinaison que nous adoptions avait l'avantage de laisser le tambour tribord T à la place de celui de l'ancienne machine et d'éviter ainsi de nombreux remaniements du dynamomètre et des poulies guides existant à tribord, tandis qu'il n'y avait pas lieu d'installer de dynamomètre à bâbord, le tambour T′ ne devant servir qu'aux manœuvres de filins.

Des embrayeurs E et E′ permettaient de mettre en prise, l'une ou l'autre partie de la machine avec l'arbre de la roue motrice R. Des freins à ruban F et F′ rendaient possible la retenue des tambours.

La position du second tambour T′ ne permettant pas d'installer sur le pont le système entraîneur du filin dans le relèvement, nous adoptâmes une disposition consistant à le placer sur la plate-forme servant d'abri à la machine et reliée à la passerelle centrale, ainsi que nous l'avons indiqué à propos des installations diverses.

Cette disposition, reconnue réalisable par M. d'Hautuille et approuvée par l'administration, fit l'objet d'une partie du marché passé le 26 mai 1893 avec la Société des forges et chantiers et approuvé par le Ministre le 27 juin suivant.

Dynamomètre avant. — L'ancien dynamomètre se composait principalement d'une tige T (*fig.* 37) portant à sa partie supérieure une poulie jockey J dans la gorge de laquelle était engagé le filin, et, à sa partie inférieure, un piston se mouvant dans un cylindre *m* fermé

par un presse-étoupe et dont les parties supérieures et inférieures remplies d'eau communiquaient entre elles par un tube *t* de manière à constituer un appareil

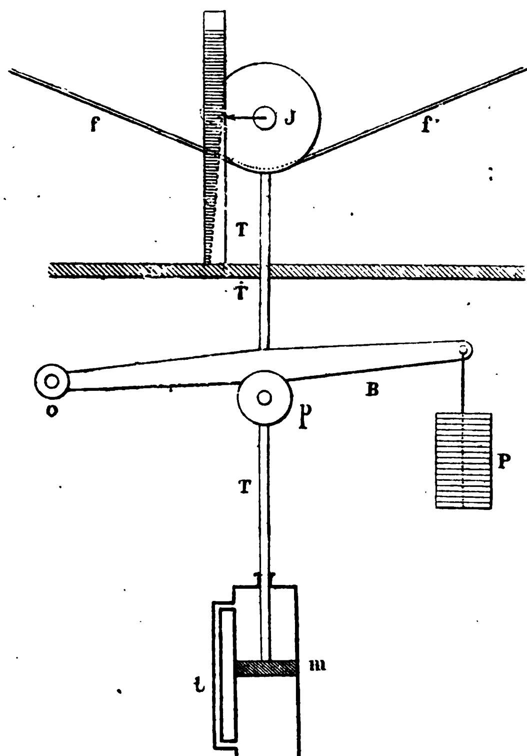


Fig. 37.

modérateur dans le cas où la tension venait à tomber brusquement. La tension du filin augmentant, l'angle formé par les brins *f* et *f'* tend à augmenter et la poulie est soulevée.

Afin de mesurer des tensions de plus en plus fortes, à l'aide d'un indice porté par l'axe de la poulie et se

mouvant le long d'échelles graduées, on pouvait charger la tige en faisant reposer, sur une poulie à gorge *p* portée par elle, un levier très pesant pouvant osciller autour d'un axe O; un plateau suspendu à l'extrémité du levier et pouvant recevoir deux charges différentes de poids, P donnait encore deux nouvelles séries d'indications.

Ainsi constitué, le dynamomètre ne commençait à marquer :

qu'à	700	kilog.	le balancier étant supprimé.
—	1.000	—	avec le balancier.
—	2.100	—	avec la demi-charge P.
—	2.500	—	avec le poids P entier.

Avec cette dernière combinaison, on pouvait mesurer des tensions de 7.000 kilogrammes.

Le balancier, exerçant sur la tige une action oblique, tendait à la fausser et empêchait ainsi d'obtenir une étanchéité complète du cylindre modérateur; de plus, sa manœuvre au cours des opérations était impossible si l'on ne faisait pas bosser le filin en avant.

Enfin, ce dynamomètref aisait entièrement défaut lorsqu'il s'agissait de mesurer de faibles tensions et cependant, dans certaines opérations, il est indispensable d'être prévenu dès que la chatte a saisi le câble; lorsque, par exemple, il y a intérêt, comme cela nous est arrivé en opérant dans la baie de Marseille dans laquelle huit grands câbles viennent atterrir, à ne pas les déplacer de leur tracé. Une disposition très simple nous avait permis de suppléer à cette insuffisance, elle consistait à frapper un palan dans les haubans, pour faire en partie contrepoids à la poulie jockey et à la tige à l'aide d'un chapelet de gueuses de fonte qui venaient reposer sur le pont à mesure que la tension

augmentait; il nous fut ainsi facile d'arriver à faire *partir* le dynamomètre pour une augmentation de tension de 80 à 100 kilogrammes. Nous vîmes, du reste, depuis notre essai, ce procédé réalisé sur les dynamomètres de divers navires à câbles.

Nous donnâmes donc pour programme à la Société des forges et chantiers de remplacer le bâti en fonte très lourd et très encombrant par un bâti en tôle d'acier et cornières aussi résistant mais plus léger, de supprimer le balancier et de fixer sur la tige un plateau permettant d'y installer facilement une surcharge de 900 kilogrammes. En outre, le bâti installé sur le pont devait porter à sa partie supérieure une poulie placée dans un plan normal à la poulie jockey et destinée à recevoir une chaîne devant d'un côté supporter cette poulie et de l'autre, un contrepoids.

Ce programme a été réalisé et quatre graduations obtenues :

avec contrepoids,
sans contrepoids,
avec demi-surcharge,
avec surcharge entière,

et nous avons ainsi le moyen de mesurer sur la *Charente* des tensions variant de 100 à 10.000 kilogrammes.

La graduation de ce dynamomètre a été faite expérimentalement en suspendant en dehors du navire à un filin passé dans la gorge de la poulie de la plate-forme et sous la poulie jockey du dynamomètre, un plateau chargé de poids variables constitués à l'aide de gueuses de fonte. Nous avons pu ainsi ne pas tenir compte des résistances dues aux frottements ou à l'inertie de la poulie de l'avant dont l'arbre était fortement appuyé sur ses coussinets. Le dynamomètre ne

doit, en effet, indiquer que la tension supportée à l'extérieur du navire par le filin ou le câble.

Pour compléter la machinerie de l'avant, la commission spéciale avait proposé l'élargissement de la plateforme et l'installation d'une troisième poulie. Cette mesure était le corollaire de l'installation d'une machine de relèvement à deux tambours, elle a été mise à exécution.

Machine d'immersion. — Le programme formulé par la Commission pour la machinerie de l'arrière avait été le suivant :

munir l'appareil d'immersion d'un moteur d'une force de 25 chevaux pour permettre de relever un câble, en cours d'immersion, si un accident était constaté électriquement;

alléger le tambour existant; modifier les freins destinés à régler la vitesse d'immersion et dont la manœuvre était absolument défectueuse; étudier, à cet effet, l'emploi d'un frein hydraulique;

substituer au dynamomètre Æ, lourd et encombrant, un dynamomètre plus léger et en rapport avec les tensions relativement faibles qu'il doit mesurer.

En outre, la Commission prévoyait, dans les travaux classés en deuxième urgence, l'installation d'un treuil à vapeur à l'arrière pour le hissage des grosses bouées et des embarcations et la manœuvre des amarres.

Ce programme répondait très bien à nos *desiderata*, mais pour divers motifs il était de réalisation très difficile, étant données l'absence d'un emplacement suffisant à l'arrière et l'obligation de maintenir le tambour à peu près à la place qu'il occupait T (*fig.* 38) pour ne pas avoir à modifier la position du holding-back H pas plus

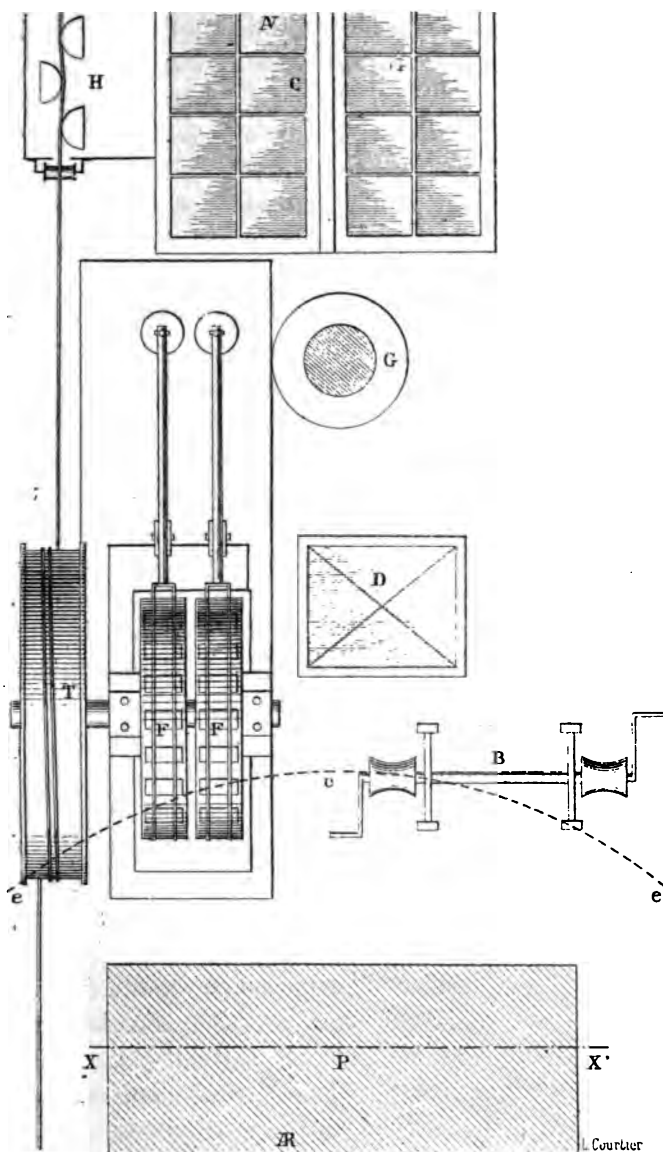


Fig. 38.

que celle des poulies guides installées à l'arrière sur la dunette. On pouvait reculer vers l'arrière, de l'espacement de deux barrots, l'hiloire du panneau arrière P et gagner ainsi environ 1 mètre; on pouvait, en supprimant le treuil à bras, s'étendre vers tribord, mais en raison de l'existence du grand mât C et de la cuve à l'intérieur *ccc*, on ne pouvait toucher à la descente D dans le faux pont.

Il fallait donc combiner les emplacements de la nouvelle machine tout en les faisant concorder avec les besoins du service. En particulier, il fallait trouver une place pour le moteur, et celui-ci, en raison de ce que la machine devait être installée en grande partie au-dessus de la cuve arrière, c'est-à-dire dans un endroit du pont dépourvu d'épontilles, ne pouvait être à cylindres verticaux, ce qui aurait occasionné au pont des vibrations, mais eût supprimé bien des difficultés. Néanmoins, la Société des forges et chantiers consentit à s'occuper de l'établissement d'un avant-projet et à étudier un frein hydraulique.

Ce projet, dû à M. l'ingénieur d'Hauthuille et qui nous fut soumis en juillet 1892, comportait les dispositions suivantes : l'axe du tambour portait une grande roue dentée engrenant de part et d'autre d'un même diamètre horizontal avec deux pignons dont l'un pouvait être embrayé avec l'arbre à manivelles du moteur, et l'autre avec celui du frein hydraulique, de telle sorte que l'on pouvait utiliser ou supprimer à volonté l'action du moteur et que, dans une immersion, sous la seule action de la tension du câble, le tambour pouvait mettre en mouvement l'arbre à manivelles du frein hydraulique.

Mais ce projet laissait de côté la question d'installa-

tion d'un treuil à vapeur à l'arrière; il nous paraissait cependant que l'on pouvait assez simplement utiliser le moteur de la machine de relèvement à l'effet de constituer un treuil puissant avec poupée de chaque bord. Nous demandâmes, en conséquence, que le projet fût modifié et complété suivant les dispositions qui sont reproduites à la *fig.* 39, c'est-à-dire telles qu'elles ont été réalisées.

L'axe *a* du tambour T porte une grande roue dentée *r* en prise avec deux pignons 1 et 2. Ceux-ci, au moyen des embrayeurs E et E′, peuvent être liés aux arbres *bb* et *cc*. Le premier n'est autre que l'arbre à trois coudes à 120° du frein hydraulique O; le second, l'arbre à manivelles du moteur à deux cylindres M.

L'arbre du tambour porte, en outre, un frein à ruban F qui est manœuvré à l'aide du volant *f*.

L'arbre *cc* est relié à l'arbre *dd* portant des poupées et constituant le treuil à vapeur, à l'aide de deux jeux d'engrenage 3 et 4, 5 et 6, les roues 4 et 5 étant portées par un même arbre intermédiaire. Ce double équipage permet de donner une vitesse très réduite à l'arbre des poupées.

Le frein hydraulique est à trois corps de pompe aspirant l'eau par le conduit A et la refoulant par le conduit R.

Celui-ci est pourvu d'une sorte de vanne qui permet de laisser la section entièrement libre ou de la réduire; dans le premier cas, les conduits A et R ayant la même section, le tambour n'éprouve dans son mouvement d'autre résistance que celle due au frottement des pistons dans leurs cylindres. Dans le second cas, l'eau étant aspirée, ne trouvant plus au refoulement qu'une section réduite, oppose une résistance à la marche

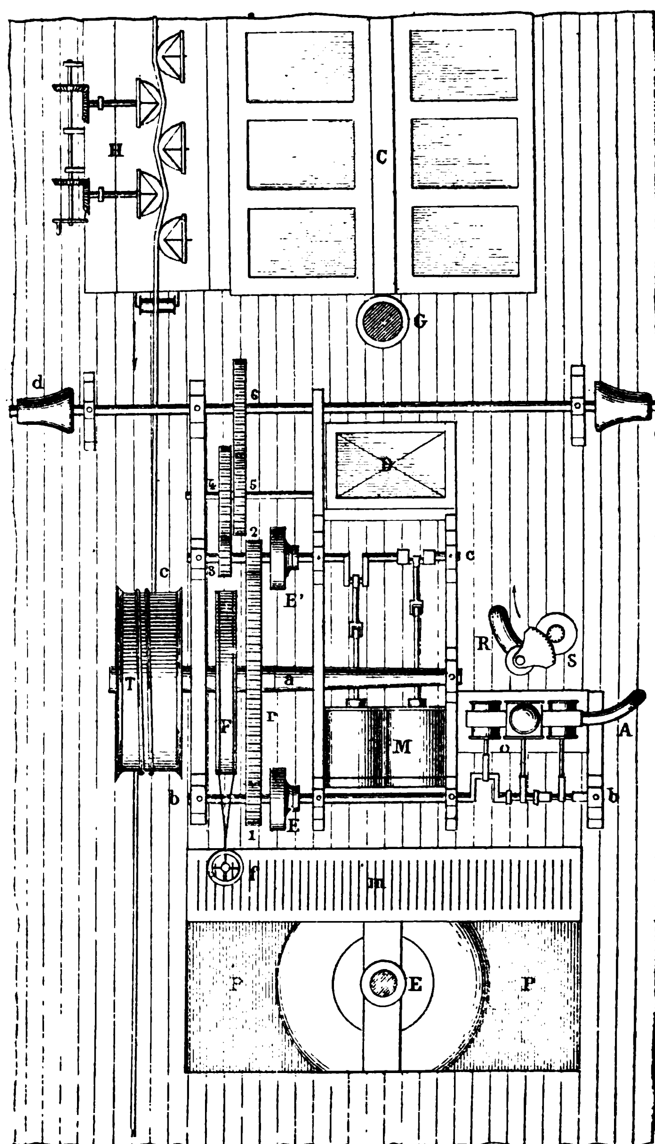


Fig. 39.

des pistons, résistance qui se traduit par un ralentissement dans la vitesse de déroulement du tambour. La manœuvre du robinet-vanne est obtenue à l'aide d'une roue dentée commandée par un volant et qui engrène avec un secteur S porté par la tête de la vanne.

La limite de puissance du frein hydraulique n'est autre que celle de la résistance des corps de pompe et, pour ce motif, le système est pourvu d'une soupape de sûreté qui se soulève lorsque la pression à laquelle l'eau est soumise vient à atteindre celle à laquelle le système a été essayé.

Dans le projet établi en 1892 par M. l'ingénieur d'Hauthuille, le moteur avait une force de 70 chevaux indiqués. En admettant que la commission ait eu en vue de lui faire rendre effectivement un travail correspondant à 25 chevaux, tout en tenant compte du travail absorbé par la machine elle-même et de l'intérêt qu'il y avait à assurer son départ dans toutes les positions des manivelles, l'écart de 25 à 70 paraissait trop considérable et nous jugeâmes utile de rechercher à nouveau les conditions limites dans lesquelles on peut avoir à opérer dans nos travaux variés :

pose d'un câble d'atterrissement,
immersion d'un câble à plusieurs conducteurs et très pesant comme ceux de la Manche,
relèvement d'un câble en immersion par les grands fonds.

Lorsqu'on opère par mer très peu profonde (15, 20, 30 mètres) ou aux abords des côtes et que l'on a à entreprendre l'immersion d'un câble pesant, par exemple après avoir fait une épissure, il faut éviter avec

le plus grand soin qu'en se mettant en route, c'est-à-dire sur plusieurs centaines de mètres, le navire ne fasse aucun effort sur le câble. Il faut donc, pour ainsi dire, que la machine d'immersion le *débite* elle-même et qu'il suffise de l'action du poids de quelques mètres de câble, pendant à l'arrière du navire, pour entraîner toute la partie qui repose encore sur les poulies de la dunette. Les câbles de la Manche pesant 7 à 8 tonnes au kilomètre, en admettant une distance de 30 mètres du tambour à la couche moyenne de la cuve, c'est un poids de 240 kilogrammes qu'il faut mettre en mouvement au moyen de la machine ; en tenant compte des frottements et des changements de direction, on peut admettre un effort total de 500 à 600 kilogrammes. En admettant, d'autre part, qu'au départ du navire le câble doive être filé à la vitesse de 1 mètre à la seconde (à peu près 2 nœuds pour le navire), le travail à produire sera de 500 à 600 kilogrammètres, c'est-à-dire de beaucoup inférieur à celui développé par un moteur de 25 chevaux.

Si l'on se place au point de vue du relèvement de la partie d'un câble déjà immergée, le travail à produire sera encore de beaucoup inférieur à la puissance du moteur; en effet, en ce cas, on commencera par étaler le navire en serrant les freins et en faisant machine en arrière et l'on répétera de temps à autre cette dernière manœuvre, de manière que le câble relevé ne présente d'autre résistance que celle du poids dans l'eau de la longueur nécessaire pour atteindre le fond verticalement, augmenté de la valeur du frottement du câble contre l'eau. Si nous supposons que l'immersion ait lieu par des fonds de 3.000 mètres, c'est un poids de $3 \times 550 = 1.650$ kilogrammes augmenté de 300 à

400 kilogrammes pour le frottement (*) qu'il y aura à soulever, soit 2.000 kilogrammes environ. A la vitesse déjà grande de 0m,50 par seconde, le travail nécessaire sera de 1.000 kilogrammètres, c'est-à-dire encore très inférieur à la puissance du moteur.

On pouvait encore, pour fixer la force du moteur, se placer au point de vue spécial de son emploi comme modérateur de vitesse si un accident venait à mettre le frein hydraulique hors de service. Dans le cas où l'accident se produirait en cours de pose, la vitesse de filage irait en s'accélérant pour ainsi dire indéfiniment et il en résulterait non seulement une grande perte de câble, mais encore des accidents très graves dans les cuves où les hommes employés à surveiller et à guider le délovage deviendraient absolument impuissants et pourraient être saisis par les loves se soulevant tumultueusement. Prenons le cas extrême qui se présente pour la *Charente* dans la Méditerranée, c'est-à-dire celui d'une immersion par des fonds de 3.000 mètres à la vitesse de 6 nœuds, soit un filage de 12.000 mètres environ à l'heure, y compris le mou, ou de 3m,33 par seconde, l'effort auquel il y aurait à résister correspondrait à un travail de

(1.650 poids du câble dans l'eau — 350 frottement) × 3m,33,

soit 4.329 kilogrammètres environ.

La machine de 25 chevaux serait tout à fait insuffisante (1.875 kilogrammètres) ; celle de 70 chevaux (5.250 kilogrammètres) serait plus en rapport avec l'effort à faire. Mais il faut tenir compte de ce qu'en

(*) L'évaluation du frottement est le résultat de nos expériences personnelles et des mesures prises au dynamomètre ; si, en effet, par 2.500 à 3.000 mètres de fond, on arrête le relèvement, on voit immédiatement la tension baisser de 300 à 400 kilogrammes.

pareil cas, on aurait recours au holding-back, d'une part, et au frein à friction E maintenu sur la machine, et si l'on utilisait alors le moteur en le mettant en marche en arrière, l'effort qu'il aurait à faire serait bien diminué.

Du reste, l'hypothèse d'un accident mettant à la fois les trois corps de pompe du frein hydraulique hors de service dépasse les prévisions dont il y a lieu de tenir compte, et un accident survenant à l'un des corps de pompe n'empêcherait pas le fonctionnement des deux autres, il aurait simplement pour conséquence d'obliger à réduire la vitesse d'immersion, c'est-à-dire celle du navire.

Ces considérations nous amenèrent à demander à la Société des forges et chantiers de réduire la puissance du moteur à 30 ou 35 chevaux au maximum. C'est ce dernier nombre qui a été adopté dans la rédaction du marché définitif.

Un point très important dans l'examen du projet présenté était de s'assurer que le frein hydraulique composé de trois pompes à double effet calculées pour résister à une pression de 9 à 10 kilogrammes par centimètre carré présenterait une résistance suffisante. Pour faire cette vérification, nous nous plaçâmes dans le cas limite, pour notre service, d'une immersion d'un câble à la vitesse de 6 nœuds par des fonds de 3.000 mètres, ce qui n'a rien d'exagéré si les précautions nécessaires ont été bien prises dans les cuves en vue du délovage du câble. Cette vitesse du navire suppose l'immersion de 12.000 mètres à l'heure, soit de $3^m,33$ à la seconde; théoriquement, la tension pour des fonds de 3.000 mètres, le câble étant immergé avec du mou, est égale au poids d'une hauteur de câble au-dessus

du fond diminuée du frottement de glissement contre l'eau, c'est-à-dire dans notre hypothèse de

$$3.000 \times 0,550 - 350 = 1.300^{kg}.$$

Mais, dans les immersions que nous avions faites par des fonds de 2.500 à 2.900 mètres, nous avions constaté au dynamomètre des nombres variant de 1.700 à 2.000 kilogrammes. Il nous parut donc sage de prendre un nombre un peu supérieur, 2.200. C'était alors un travail de $2.200 \times 3,33 = 7.326$ kilogrammètres que les freins devaient équilibrer.

Or, si les cylindres étaient calculés pour une pression de 9 à 10 kilogrammes par centimètre carré, la surface de chaque piston étant de $94^{cmq},2$, la pression par piston pouvait être portée à 942 kilogrammes. D'autre part, pour chaque tour du pignon moteur de $0^{m},350$ de diamètre, chaque piston parcourant les cylindres dans les deux sens, le chemin parcouru par chaque piston était, avec la circonférence de la roue motrice du tambour, de $2^{m},200$ de diamètre, dans le rapport

$$\frac{2.200 \times 2}{0,350} = 12,6,$$

c'est-à-dire qu'un tour de tambour correspondait à 12 fois 6 la course du piston.

La circonférence du tambour étant de $5^{m},024$, le filage de $3^{m},33$ par seconde correspondait à un nombre de courses de piston égale à

$$12,6 \times \frac{3,33}{5,024} = 8,3,$$

et le travail de résistance maximum développé par les freins, la course des pistons étant de $0^{m},20$,

$$942 \times 8,3 \times 0,20 \times 3 = 4.691^{km},16$$

c'est-à-dire que les freins tels qu'ils étaient projetés devaient offrir une résistance insuffisante. Ils furent en conséquence modifiés et construits de façon à résister à une pression de 15 kilogrammes par centimètre carré et à pouvoir absorber un travail de 7.000 kilogrammètres.

Dynamomètre arrière. — La machinerie de l'arrière fut, suivant le programme de la commission, complétée par l'installation d'un dynamomètre beaucoup moins encombrant que l'ancien et plus en rapport avec les tensions qu'il devait mesurer, 4.000 kilogrammes au maximum. Nous donnâmes comme indication à la Société des forges et chantiers de substituer au bâti en tôles et cornières du dynamomètre de l'avant un système de quatre colonnettes en acier, le long desquelles glisseraient des colliers supportant le chariot porteur de la poulie jockey, un système de contrepoids (*fig.* 40) devant servir à supprimer une partie de l'effet produit par la poulie jockey sur le câble et à permettre ainsi de mesurer de faibles tensions de 100 à 200 kilogrammes,

La graduation de ce dynamomètre a été obtenue expérimentalement comme celle du dynamomètre avant.

Essais de stabilité. — En raison même du service auquel ils sont affectés, les navires télégraphiques peuvent se trouver, à la fin d'une opération exécutée en pleine mer, dans de bien moins bonnes conditions de navigabilité qu'à leur départ; ils se déchargent, en effet, à la mer à mesure qu'ils filent le câble contenu dans les cuves. Pour ce motif, les nouveaux navires sont pourvus de water-ballasts, grandes caisses en tôle régnant à fond de cale, sur une grande partie de la

longueur du navire et divisées en compartiments qui peuvent être remplis d'eau successivement à mesure

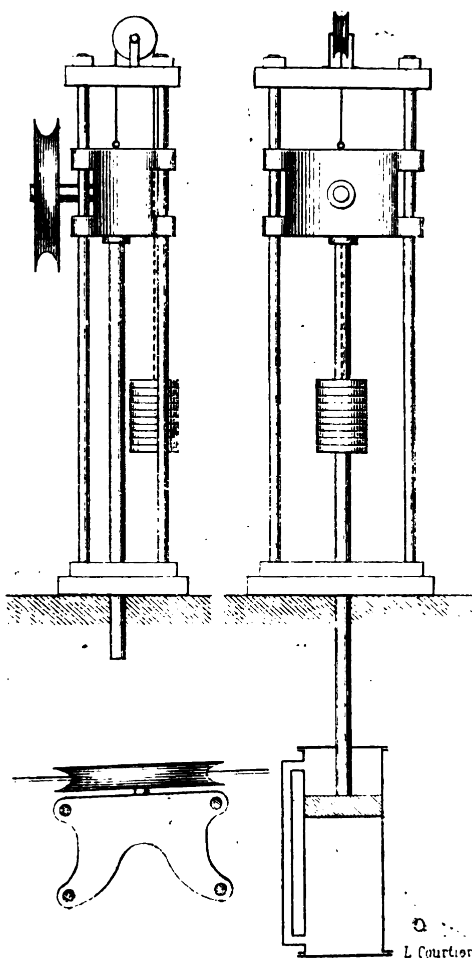


Fig. 40.

que le chargement diminue. Cette disposition n'existant pas à bord de la *Charente*, et ce bâtiment ayant

été très fortement remué par la mer à la fin de notre opération d'immersion du câble de Corse, la transformation de son outillage et l'augmentation du poids de la machinerie du pont n'étaient pas sans préoccuper le commandant; il nous demanda, en conséquence, de faire procéder à des essais de stabilité pour déterminer la quantité de lest minima qu'il faudrait embarquer et arrimer dans les fonds, afin de donner toute sécurité au personnel embarqué. Cette demande était trop motivée pour qu'il n'y fût pas fait droit, et nous convînmes alors avec les ingénieurs de la Société des forges et chantiers qu'il serait procédé à des essais de stabilité, le chargement du navire étant exactement ce qu'il serait si, au cours d'une opération, tout le câble contenu dans les cuves, soit environ 320 tonnes, avait été mis à la mer.

La *Charente* resterait alors, n'ayant dans ses parties basses que le lest installé en permanence pour redresser le navire en raison de l'inégale répartition des machines, avec 30 à 40 tonnes de charbon et 25 tonnes environ de filins de drague et de bouée et d'outillage spécial : chattes, champignons, bouts de chaîne, etc., tandis que dans les hauts, tant sur le pont que suspendus aux porte-manteaux, elle porterait la machinerie spéciale plus pesante que l'ancienne, six bouées suspendues ou placées sur le pont représentant avec leur gréement un poids de 9 à 10 tonnes, les barres de théorie, le roof en fer de la machine, le kiosque agrandi et le servo-moteur, la passerelle transversale, enfin cinq embarcations dont trois pesant chacune 2 tonnes.

Il fut procédé à ces essais avant que la *Charente* fût conduite en rade; la valeur du bras de levier de redressement dans les conditions de chargement les

plus défavorables a été trouvée de 0,563. Dans des conditions de chargement normal, elle est sur la *Bourgogne*, de la compagnie transatlantique, de 0,517, et de 0,605 sur l'*Espagne*, des transports maritimes. Le chiffre trouvé pour la *Charente* est donc de nature à inspirer toute sécurité, étant donné surtout que les murailles du navire étant à peu près droites, ce bras de levier ne diminue pas sous l'effet de l'inclinaison.

Valeur des travaux et des installations. — Il nous paraît intéressant de faire connaître ici le montant des dépenses faites tant pour la remise en état du navire que pour l'installation d'une nouvelle machinerie; nous pourrons, en effet, en tirer quelques conclusions utiles :.

Travaux de réparation.

	fr.
Hissage du navire et mise à l'eau, prix à forfait	5.000,00
Assurances	3.622,05
Travaux de la coque et du fond	57.967,79
Démontage et remontage des cuves et installations intérieures	21.362,53
Débarquement et remontage des chaudières	2.479,94
Construction d'une cloison étanche	2.790,00
Réparation de la dunette *	18.212,51
Réparation du pont *	39.287,1
Réparation de la teugue *	9.975,86
Total des travaux de réparation	160.697,78

Machine motrice.

	fr.
Fourniture et installation d'une machine motrice à forfait	179.950,00
Roof de la machine et barres de théorie à forfait	4.650,00
Agrandissement de la passerelle et du roof et installation d un servo-moteur à forfait	11.385,00
Soupape de sûreté à forfait	2.052,45
Transmetteur d'ordres	1.095,45
Indicateur de marche	449,62
Accessoires divers pour machine	559,59
Essais	1.901,41
Total des dépenses concernant la machine motrice	200.043,52

Machinerie spéciale.

Prix à forfait 104.500f,00

Les travaux de consolidation ou d'appropriation du pont pour recevoir cette machinerie sont compris dans les trois articles marqués d'un astérisque et se sont confondus avec des travaux d'entretien.

D'où un ensemble de dépenses pour la remise en état de la *Charente* et la transformation de son outillage, de 465.241f,30. La Commission spéciale avait prévu un ensemble de dépenses de 319.750 francs, se décomposant ainsi :

	fr.
Machine motrice et accessoires	173.500,00
Servo-moteur et remaniement de la passerelle	13.000,00
Machinerie spéciale et travaux de modification du pont et de ses supports.	133.250,00

Si de l'ensemble des travaux de réparation on déduit une somme de 20.000 francs, prévue par la Commission au titre de modification du pont et de ses supports, on obtient la valeur des dépenses faites pour remettre la *Charente* en parfait état, soit 140.698f,78

Si à cette somme, on ajoute les dépenses d'amélioration réalisées en dehors du programme de la commission :

Roof de la machine et barres de théorie. .	4.650,00
Soupapes de sûreté.	2.052,45
Transmetteur d'ordres	1.095,45
Indicateur de marche	449,62
Et les dépenses faites pour les essais. .	1.901,41
On obtient un total de dépenses non prévues de	158.846f,71

Et par différence, par rapport à l'ensemble des dé-

penses, la valeur du nouveau moteur, de la nouvelle machinerie et de leur installation, 314.394f,59.

La dépense pour la machinerie et son installation ayant été de 124.500 francs, et, d'autre part, les plates-formes avant et arrière, les poulies-guides et celles d'immersion et de relèvement et le holding-back existant avant la modification de l'outillage ayant seuls été maintenus ou simplement transformés, on peut être certain que l'outillage d'un navire construit spécialement en vue du service des câbles ne coûterait pas plus de 160.000 francs et de 250.000 francs en y ajoutant le prix de trois cuves et de leur installation.

Conclusion. — En présence de l'importance des dépenses faites à bord de la *Charente*, on est porté à se demander s'il n'eût pas été préférable de faire immédiatement l'acquisition d'un navire neuf répondant mieux que la *Charente* aux besoins du service des câbles. Cette question paraît mériter d'être traitée ici comme conclusion de ce travail.

Tout d'abord, nous ferons remarquer que si l'avis a été donné par les constructions navales que l'état du navire et sa durée probable justifiaient les projets formés d'améliorer son outillage et de changer son appareil moteur, des dispositions ont été prises pour vérifier au préalable que cet avis était entièrement conforme à la réalité, et le navire fut hissé sur cale et visité dans ses fonds.

Ce ne fut que lorsque l'on eut acquis la certitude qu'avec certaines réparations, la *Charente* pourrait, en toute sécurité, reprendre la mer pendant de longues années, que l'administration traita avec la Société des forges et chantiers pour l'exécution des

travaux de réparation, le remplacement de l'appareil moteur et l'installation d'une machinerie nouvelle. Les réparations ont, il est vrai, coûté beaucoup plus que l'évaluation qui en avait été faite, mais le résultat obtenu est de nature à ne pas faire regretter ce contretemps; et si elles n'avaient pas été faites, ou si elles avaient été moins complètes, il fallait, immédiatement ou à brève échéance, dépenser au minimum 800.000 fr. pour faire construire un navire, ou plusieurs centaines de mille francs pour en acheter un en bon état, susceptible d'être transformé en bâtiment télégraphique, mais qui certainement n'eût pas répondu à tous les desiderata auxquels un navire à câbles doit satisfaire.

Le supplément de crédit à demander aux Chambres eût, pour le moins doublé, celui que M. le Directeur général des postes et des télégraphes avait obtenu, et il n'eût vraisemblablement pas été accordé en raison du désir manifesté par le Parlement de limiter le service des câbles de l'État à un service d'entretien et de laisser à l'industrie la fabrication et la pose des câbles neufs de grande longueur.

Une autre considération militait en faveur de la mise en état de la *Charente :* ce navire est au point de vue du tonnage et du tirant d'eau éminemment propre aux travaux de pose et d'entretien de nos câble littoraux, et s'il présente certains inconvénients pour des campagnes en pleine mer, comme celles que nous avons faites en 1889, 1890 et 1891 sur le câble Marseille-Alger (1871), il n'en a pas moins parfaitement suffi pour nous permettre de mener à bien les opérations entreprises sur un câble immergé par une profondeur variant de 2.500 à 3.000 mètres sur la plus grande partie de son tracé.

Or si l'État mettait en commande un nouveau navire, il faudrait absolument lui donner une contenance lui permettant d'effectuer une pose comme celle de nos câbles transméditerranéens. Ne pas adopter cette base serait une grande faute, la pose du câble de Majunga à Mozambique vient de le démontrer. Aujourd'hui des deux sociétés françaises qui ont entrepris la fabrication et la pose du câble de Madagascar, une seule possède un navire, le *François-Arago ;* il est vrai que par sa fusion avec la compagnie du câble transatlantique français, elle peut disposer d'un second navire, le *Pouyer-Quertier*. Mais ces deux navires peuvent à peine répondre aux besoins de l'entretien d'un ensemble de câbles répartis entre l'Océan Atlantique et la mer des Antilles, la mer des Indes et l'Océan Pacifique; la pose urgente d'un câble comme celui de Madagascar, risquerait donc fort d'être encore une fois, comme celle du câble de Marseille à Tunis, effectuée au moyen d'un navire anglais.

L'acquisition par l'État d'un navire plus puissant que la *Charente* eût donc donné satisfaction à certains besoins qui peuvent surgir inopinément, et permis d'entreprendre la réparation de nos grands câbles africains dans de meilleures conditions qu'avec la *Charente ;* mais elle n'eût pas dispensé de faire remettre la *Charente* en bon état de navigabilité, car avec un gros navire de fort tirant d'eau on ne ferait pas ce que permettent de faire l'*Ampère* et, à son défaut, la *Charente*, sur les côtes de la Manche et de l'Océan.

Ces considérations nous ont constamment maintenu dans cette conviction qu'il fallait tout au moins réparer la *Charente* pour prolonger le plus possible ses services, et ce résultat est entièrement acquis ; mais eût-on

pu se borner à prolonger son existence sans la doter d'une machinerie spéciale aussi puissante que celle que l'on installerait sur un nouveau navire? Ce point de vue est discutable et il a fallu les plus sérieuses considérations budgétaires rejetant à une époque assez éloignée la demande des crédits nécessaires à l'acquisition d'un nouveau bâtiment, pour que la question de la machinerie ait reçu la solution qui a été admise.

Mais de même que nous avons toujours cru à l'obligation de conserver la *Charente* au service des câbles, de même nous avons toujours pensé que tôt ou tard l'administration française, si elle ne veut pas être entièrement à la merci d'une industrie qui ne peut se développer assez pour assurer dans les adjudications une sérieuse concurrence, sera forcée de doter le service des câbles d'un navire pouvant transporter un câble de 800 à 900 milles. Pour ce motif, nous croyons intéressant de faire connaître les desiderata auxquels il devrait répondre; nous pensons, en effet, que les sept années que nous avons passées à la tête du service, l'expérience que nous avons acquise et les constatations que nous avons faites au cours des campagnes de pose ou de réparation de câbles, enfin les trois dernières années que nous avons employées à rechercher le meilleur parti que l'on pouvait tirer de la *Charente*, presque réduite à un moment à sa coque et à sa mâture, nous permettent de nous prononcer sur le programme qu'il faudrait indiquer aux constructeurs.

Avant la transformation de son outillage, le chargement maximum de la *Charente* pour la faire naviguer dans de bonnes conditions était le suivant :

Machinerie spéciale et installations du pont.	35 tonnes.
Trois cuves en tôle et assises	30 —
Outillage : filins, bouées, etc.	35 —
Charbon.	140 —
Câble.	300 —
	540 tonnes.

Aujourd'hui le poids de la machinerie et des installations du pont a été augmenté d'environ 25 tonnes, celui du moteur de 26 ; il faut donc réduire de 50 tonnes la quantité de câble ou de charbon que l'on peut embarquer sans dépasser le chargement maximum. Pour un long voyage, on ne devrait donc pas embarquer plus de 250 tonnes ou 300 kilomètres de câble de grand fond. Si l'on veut pouvoir embarquer sur un navire 900 milles de câble, soit 1.666 kilomètres pesant 1.400 tonnes, il faut, étant donné que la machinerie et l'outillage de la *Charente* sont à la hauteur de tous les besoins, et que l'approvisionnement de charbon devra être porté à 300 tonnes, que le navire dont on fera l'acquisition puisse recevoir un supplément de chargement de 1.150 (câble) + 160 (charbon) = 1.310 tonnes, c'est-à-dire que son déplacement soit, en tenant compte de l'augmentation de la coque et du moteur, de 3.300 à 3.500 tonnes.

Les 1.666 kilomètres de câble pourraient être répartis entre trois cuves présentant les dimensions suivantes :

Diamètre	11m,00
Hauteur utilisable	3m,50
Diamètre moyen du cône.	2m,60
Contenance.	600.000m,00

Le navire devrait donc avoir une largeur de 12 mètres pour rendre possible l'installation des cuves.

Il pourrait au moins virtuellement être divisé sur sa longueur en sept parties (*fig.* 41) :

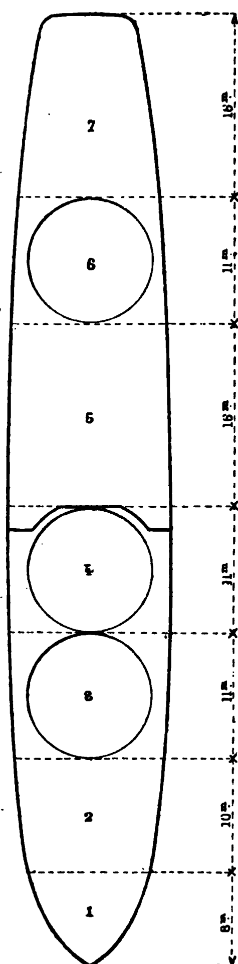


Fig. 41.

1. Avant.	8m
2. Cale servant de magasin de l'outillage et des bouées (*), l'entrepont servant au logement de l'équipage, ce qui fait absolument défaut sur la *Charente*.	10
3 et 4 Cuves	22
5. Chaufferie, moteur, soutes à charbon.	16
6. Cuve.	11
7. Arrière avec le logement des officiers.	16
Longueur du navire.. . . .	83m

En admettant un tirant d'eau moyen en pleine charge de 5 mètres, un navire dans ces conditions de largeur et de longueur avec des murailles droites et des fonds aussi plats que possible déplacerait environ 3.500 tonneaux.

Il devrait être pourvu d'un water-ballast pour qu'on puisse le maintenir constamment dans ses lignes d'eau et être à spare-deck pour que le pont soit, ainsi que la machinerie, abrité et pour faciliter les manœuvres.

Un espace suffisant devrait être réservé dans l'entrepont dans l'une des parties 1 et 2 pour l'installation

(*) Dans les navires spécialement construits pour le service des câbles, les bouées, qui chargent tant les parties hautes de la *Charente*, sont logées dans la cale.

d'une vaste glacière et celle d'une petite écurie permettant d'embarquer quelques animaux sur pied. Cette installation du service des vivres dans de bonnes conditions est indispensable sur un navire télégraphique qui, usant très peu de charbon pendant ses opérations de dragage et même d'immersion par rapport aux quantités consommées en marche, doit pouvoir rester le plus longtemps possible à la mer sans avoir besoin de se ravitailler.

Le moteur de la *Charente* développe en marche normale 550 chevaux et imprime au navire une vitesse de $10^n,5$, la consommation du charbon étant de 14 tonnes par 24 heures; c'est dire qu'avec son chargement de 140 tonnes de combustible, la *Charente* peut parcourir aujourd'hui 2.500 milles en dix jours consécutifs sans relâcher. Il est donc vraisemblable qu'une machine pouvant développer 1.300 à 1.400 chevaux et en produisant 900 à 950 en marche normale imprimerait au nouveau navire la même vitesse et lui permettrait, avec un approvisionnement de 300 tonnes, d'avoir un rayon d'action aussi étendu.

Ce navire, construit en tôle d'acier, nous semblerait devoir coûter :

	fr.
Coque, aménagement, gréement	700.000
Machine motrice et chaudières	350.000
Machinerie et cuves	250.000
Au total	1.300.000

« *Ampère*. »

En présence des développements auxquels nous avons été entraînés dans notre étude du nouvel outillage de

la *Charente*, une description aussi complète de l'*Ampère* et de sa machinerie serait sans objet. Nous n'entrerons donc dans quelques détails qu'au sujet des organes de la machinerie qui n'auraient pas leurs similaires sur la *Charente* et, en particulier, de la machine d'immersion qui présente un mode de réglage nouveau; pour le reste, nous nous bornerons à une simple énumération des installations faites à la Seyne, en 1894, par la Société des forges et chantiers.

L'*Ampère* est un navire plus petit que la *Charente*, de $52^{m},40$ de longueur, de 8 mètres de largeur et de $4^{m},93$ de creux; son tonnage est de $383^{t},928$. Il a été acheté en Angleterre en 1863, sa coque est en fer et les pavois sont en bois.

Il est pourvu d'un appareil moteur qui date de l'origine du navire : c'est une machine à deux cylindres et à pilon qui développe une puissance de 65 chevaux nominaux, soit de 260 chevaux de 75 kilogrammètres, la pression de la vapeur étant de $1^{kg},800$.

Son appareil évaporatoire, construit au Creuzot et monté à Brest en 1890, comprend un corps de chaudière type haut à quatre foyers et est timbré à $1^{kg},800$.

Dans de bonnes conditions de mer et de propreté de la carène, la vitesse de l'*Ampère* est de 10 nœuds.

Les soutes peuvent recevoir 90 tonnes de charbon; la consommation en marche normale étant de 15 tonnes par jour, l'*Ampère* peut fournir une route de cinq jours et parcourir 1.200 milles sans relâcher, à la condition toutefois qu'il reste dans le voisinage des côtes pour ne pas se trouver dépourvu de combustible au cas où il aurait à lutter contre des mauvais temps.

Jusqu'en 1894, l'*Ampère* n'était pourvu comme machinerie que d'un simple tambour de déroulement en-

traînant deux freins à rubans métalliques garnis de sabots de bois et dont l'axe, portant une large poulie de transmission, pouvait être commandé à l'aide d'une courroie par un moteur d'une force de vingt chevaux également install ésur l'arrière. A l'avant, était un petit bâti supportant une poulie de déroulement du câble ou du filin; à l'arrière, un second bâti également porteur d'une poulie pour le filage du câble à la mer.

Lorsqu'on avait à immerger ou à relever une drague, on amenait le filin de la poulie de l'avant sur le tambour Æ et on actionnait ce dernier à l'aide du moteur; lorsqu'on voulait immerger un câble, on supprimait la courroie et le câble suspendu à l'arrière devait entraîner le tambour sous l'action de son poids ou en raison du mouvement du navire, le câble étant fixé à terre ou à une autre section déjà immergée.

La machine d'immersion présentait un défaut capital : le tambour, au lieu d'être monté sur un axe en porte-à-faux, était encadré par les deux freins, de telle sorte qu'on ne pouvait le garnir ou le dégarnir à volonté sans couper le câble ou sans faire repasser, dans un sens ou dans l'autre, le filin déjà amené sur le pont ou mis à la mer.

La liaison du moteur avec le tambour à l'aide d'une courroie en présentait un autre très sérieux : lorsque l'effort au relèvement devenait un peu considérable, la courroie glissait ou tombait et, dans certains cas, le relèvement devenait impossible.

Ces inconvénients nous avaient frappé, au cours de nos campagnes sur les côtes de l'Océan, en 1888 et 1889, et dès 1890, un projet, étudié par le chef mécanicien, M. Sazerat, nous avait été soumis pour transformer la machinerie, en installant le tambour en

porte-à-faux sur bâbord et en substituant aux poulies supportant la courroie, des poulies à gorges destinées à recevoir des transmissions en cordes, moins sujettes au glissement et qui ne pouvaient tomber.

Ces dispositions étaient complétées par une roue d'engrenage fixée sur le tambour et commandée par un pignon relié à la poulie à gorge par un jeu de roues d'engrenage avec embrayeur. On eût pu ainsi actionner le tambour de déroulement à l'aide du moteur ou, en désembrayant pendant la marche, supprimer l'action du moteur après la mise en train d'une immersion. Cette disposition de la machinerie-arrière, d'une réalisation très simple et peu coûteuse, eût donc été très pratique à la fois pour l'immersion d'un câble et pour le relèvement; elle eût eu, en outre, l'avantage sur les dispositions qui ont prévalu, de ne pas charger et encombrer l'avant du navire et de ne pas modifier ses conditions de navigabilité.

L'*Ampère*, très bas sur l'eau à l'arrière, présentait un danger continuel dans la navigation par grosse mer : la claire-voie de la machine était très peu élevée au-dessus du pont, de telle sorte qu'une lame entrant par l'arrière et le remplissant, devait envahir la machine et la chaufferie et éteindre les feux. On devait forcément, en cas de grosse mer, faire face à la tempête, au lieu de fuir devant elle pour chercher un abri. La surélévation de la claire-voie ou son remplacement par un roof élevé à la hauteur de la passerelle s'imposait donc.

Au mois d'octobre 1891, la Commission spéciale se transporta à Brest et arrêta le programme suivant :

En première urgence,

la suppression du moteur de l'arrière;

l'installation sur l'avant d'une machine de relève-

ment pourvue d'un moteur de 30 chevaux et d'un dynamomètre;

la transformation de l'appareil d'immersion;

l'installation d'un holding-back avec changement des poulies guides;

le remplacement, par une cuve en tôle, de la cuve en bois.

En deuxième urgence,

l'acquisition de bouées moyennes;

l'installation d'un treuil à vapeur sur le navire.

La machine de relèvement devait être établie en utilisant le plus possible les organes provenant de celle qui serait remplacée sur la *Charente.*

En raison des exigences du service d'entretien, aucun travail ne fut entrepris sur le pont de l'*Ampère* pendant l'année 1892; nous profitâmes seulement de la campagne annuelle pour établir l'avant-projet de transformation de l'outillage et faire installer la deuxième cuve en tôle destinée à remplacer la construction très sommaire en bois qui en tenait lieu.

Au commencement de 1893, le programme d'exécution fut arrêté et servit de base à un appel à la concurrence adressé aux constructeurs du Havre, de Saint-Nazaire et de Bordeaux. Seule la Société des forges et chantiers, qui avait déjà l'entreprise des travaux de la *Charente* consentit à s'en charger. Nous rencontrâmes dans notre étude faite de concert avec les ingénieurs de la Société de très grandes difficultés en raison de l'exiguïté des emplacements disponibles; néanmoins, nous parvînmes à les surmonter et, dès le mois de mai, nous pûmes transmettre à l'administration un projet de marché qui, après diverses modifications de détail, fut converti en marché définitif le 24 juillet, et fut approuvé

le 16 août suivant par le Ministre du commerce, de l'industrie et des colonies.

Machine de relèvement. — Le seul emplacement pouvant être rendu disponible pour l'installation de la machine de relèvement était compris entre le mât de misaine et le panneau de descente correspondant à l'axe de la cuve avant, c'est-à-dire qu'on ne disposait de la partie du pont pouvant être renforcée et solidement épontillée que sur une longueur de $2^{m},50$ à 3 mètres; or, avec son moteur, la machine de la *Charente* exigeait une longueur de 6 mètres. Elle ne pouvait donc pas être entièrement utilisée. De plus, on ne pouvait, en raison de leur poids très considérable, maintenir les équipages qui, d'ailleurs, compliquaient toutes les manœuvres comme nous l'avons exposé.

Aussi avions-nous été obligé, dans notre programme d'exécution, de ne considérer comme utilisables que l'arbre *d* des tambours (*fig.* 30) et les roues, freins, etc., qui lui étaient fixés, le jockey, les paliers, ceux de l'arbre intermédiaire du train d'engrenages, cet arbre et le pignon 7 qu'il portait. Pour le moteur et sa liaison avec ce dernier arbre, nous avions posé les conditions suivantes : suivant les efforts à exercer, on devait pouvoir relever un câble ou un filin à des vitesses variant de $0^{m},10$ à $0^{m},50$ par seconde; ce résultat devait être obtenu en installant sur le moteur un appareil de changement de marche par coulisses de Stéphenson, l'effort maximum à exercer ne devant pas dépasser 4.000 kilogrammes et la vapeur ne pouvant donner, dans le moteur, une pression supérieure à $1^{kg},600$.

Ces conditions ont été complètement remplies; la

machine proprement dite constituée pour la plus grande partie comme nous venons de le dire a été complétée par un pignon d'engrenage monté sur l'arbre du moteur et par une roue intermédiaire engrenant avec ce pignon et monté sur l'arbre *c*.

La machine à vapeur est horizontale à deux cylindres égaux disjoints et placés de part et d'autre de l'écubier par lequel le câble sort de la cuve, disposition rendue absolument nécessaire par le manque de place.

En raison de la faible pression de la vapeur, les diamètres des cylindres ont dû être portés à $0^{m},500$, la course des pistons étant de $0^{m},600$.

Le nombre de tours par minute varie de 24 à 114, suivant l'introduction de la vapeur ; les vitesses et les efforts de relèvement correspondants sont respectivement de :

Vitesse,	$0^{m},107$,	effort,	4.000^{kg},
—	0 ,508,	—	800^{kg}.

Les résultats obtenus aux essais et dans la campagne de l'Océan conduite, en 1894, par M. Deries, ont prouvé que, cette fois, encore la Société des forges et chantiers avait su résoudre un problème dont les données étaient loin d'être simples.

Dynamomètre. — L'installation d'un dynamomètre sur l'avant décidée par la Commission présenta comme celle de la machine de relèvement les plus grandes difficultés par suite du manque d'espace disponible. Le dynamomètre D et les deux poulies-guides devant l'encadrer *pp'* (*fig.* 42) ne pouvaient trouver place qu'entre le tambour T affleurant le mât de misaine M et le gaillard d'avant G, un peu à bâbord de l'axe du navire.

Or, ce faible espace de $5^m,50$ se trouvait occupé par le panneau de la cambuse, celui du poste des maîtres et le guindeau des ancres; c'était évidemment là l'un des

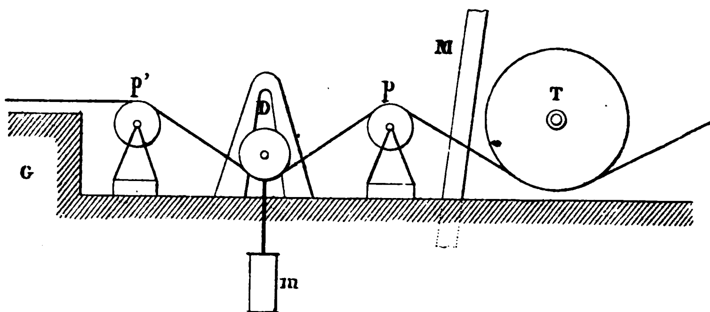


Fig. 42.

motifs pour lesquels, au moment où l'*Ampère* fut outillé pour le service des câbles, toute la machinerie avait été rejetée à l'arrière.

Il était en outre impossible d'adopter le système de dynamomètre à tige et à cylindre modérateur installé sur la *Charente*, car on ne disposait pas sous le pont d'un espace non utilisé pouvant recevoir la tige et le cylindre la prolongeant.

Nous résolûmes la difficulté en supprimant la poulie guide p, en faisant arriver le câble sur le tambour par le haut, ce qui permettait de placer le dynamomètre entre les deux panneaux, et en remplaçant le dynamomètre à tige par un dynamomètre à ressort dont l'extension ou la compression et, par suite, la tension du câble ou du filin, serait indiquée par une aiguille se mouvant au centre d'un cadran divisé. Nous fixâmes comme condition à remplir que cet appareil permettrait de mesurer des tensions de 4.000 kilogrammes et pourrait être sensibilisé suffisamment à l'aide d'un contre-

poids pour mesurer les tensions faibles de 100 à 200 kilogrammes.

Nous reproduisons ici la note de M. Lecat, ingénieur des Forges et chantiers, sur la manière dont il a résolu la question :

« Comme l'indique la figure 43, le dynamomètre comprend quatre colonnes C en acier forgé, fixées sur un socle S' et reliées entre elles à leur partie supérieure par un chapeau D ; un plateau inférieur P', fixé sur les colonnes, est relié par un ressort R à un plateau supérieur P qui peut glisser le long des colonnes et auquel est fixé l'axe de la poulie Q.

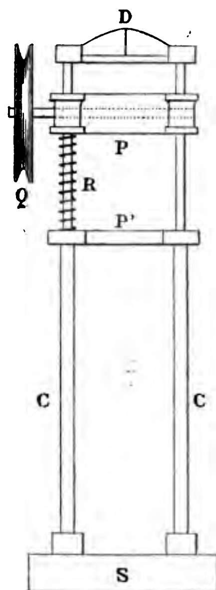


Fig. 43.

« Les mouvements du plateau P sont transmis à une aiguille qui se déplace devant un cadran.

« Si l'on fait passer sous la poulie Q un câble en cours de relèvement, la tension de ce câble aura pour effet de soulever le plateau P et, par conséquent, de faire mouvoir l'aiguille devant le cadran.

« Au repos, le ressort R est comprimé sous l'action du poids du plateau P et de la poulie Q, soit sous un poids total de 300 kilogrammes environ ; les dimensions de ce ressort permettent de lui faire supporter, sans danger, une traction de 600 kilogrammes ; nous disposons donc, pour équilibrer la tension maxima du câble, d'un effort vertical total de $300 + 600 = 900^{kg}$.

« Supposons la poulie-guide, la poulie du dynamomètre et le tambour d'enroulement placés de telle sorte

que les deux angles α soient égaux (*fig.* 44). Il est aisé, avec un effort vertical de 900 kilogrammes, d'équilibrer l'effort maximum de 4 tonnes, sur un câble, indiqué

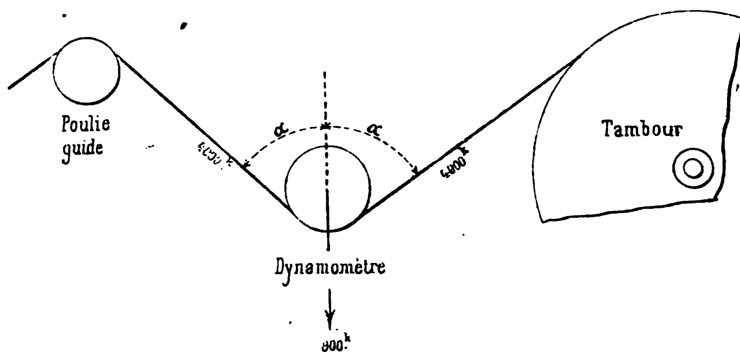


Fig. 44.

par le programme de M. l'Ingénieur en chef Morris. Il suffit d'avoir : $2 \times 4.000 \cos\alpha = 900$.

« Cette valeur de $\cos\alpha$ détermine la position que doit occuper la poulie du dynamomètre au haut de sa course ; elle détermine par suite, en tenant compte de la flèche du ressort, la hauteur à laquelle doit être fixé le plateau P′ sur les colonnes C.

« Le dynamomètre ainsi constitué paraît suffisamment sensible ; admettons, en effet, que la graduation de 0 à 4.000 kilogrammes soit tracée sur un cadran de $0^m,20$ de diamètre, elle pourra occuper un développement d'environ $0^m,60$, et à une différence de 100 kilogrammes dans la tension du câble correspondra un déplacement de $\frac{600}{40} = 15^{mm}$ pour l'aiguille du cadran.

« Toutefois, il est facile de rendre l'appareil plus sensible pour enregistrer de faibles tensions : la sensibilité est évidemment proportionnelle à $\cos\alpha$ et il

suffira pour l'augmenter de diminuer α, en fixant le plateau P′ plus bas sur les colonnes C. Ce plateau P′ pourra être fixé sur les colonnes au moyen de broches goupillées, et il y aura sur chaque colonne deux ou trois trous à différentes hauteurs correspondant à deux ou trois graduations distinctes.

« Afin que le ressort ne casse pas, si la tension vient à dépasser la limite correspondant à chaque graduation du dynamomètre, il a été disposé un butoir pour limiter la flèche du ressort. On est averti que ce butoir vient porter, lorsque l'aiguille s'avance dans un secteur, non gradué, qui a été réservé à cet effet sur le cadran, entre le trait de la graduation correspondant à l'effort limite et le zéro. »

Ce dynamomètre a reçu expérimentalement trois graduations; mais au cours de la campagne de 1894 il n'a pas donné toute satisfaction à M. Deries, qui lui trouve une inertie considérable au départ. Alors, par exemple, qu'il devrait partir à 450 kilogrammes pour de faibles tensions, il ne commençait à marquer que lorsque la tension devenait très forte et alors s'élevait brusquement. Le temps nous a manqué avant que l'*Ampère* ne quitte la Seyne après sa transformation pour élucider cette question qui s'était posée pour nous au moment où nous procédions à la graduation expérimentale; elle n'était pas d'une extrême importance et des travaux très urgents exigeaient le retour du navire dans l'Océan; nous remîmes donc à plus tard pour la résoudre. Mais nous ne sommes pas de l'avis de M. Deries, quand il attribue le fonctionnement du dynamomètre à une inertie qui lui serait propre; au cours des essais de graduation, nous avons constaté que le dynamomètre marquait parfaitement les accrois-

sements des poids placés sur le plateau suspendus à un filin à l'avant du navire; mais, lorsqu'une tension considérable était obtenue, l'aiguille restait fixe tant qu'on n'avait pas enlevé 300 à 400 kilogrammes de gueuses, et nous expliquions ce fait, non par l'inertie du dynamomètre, mais par celle de la poulie-avant dont l'arbre était très fortement appuyé sur ses coussinets et s'y imprimait en quelque sorte.

Nous pensons toutefois qu'il faudra revenir à notre idée première et sensibiliser cet instrument, ainsi qu'il a été fait sur la *Charente*, par l'installation d'une poulie et d'un contrepoids allégeant à volonté le plateau P et le jockey qu'il porte.

Passerelle. — L'installation de la machine de relèvement et du dynamomètre dans les conditions limitées, au point de vue de l'espace que nous avons indiquées, nous a obligés à faire placer le jockey servant à l'entraînement du filin dans le relèvement, non sur le pont, mais sur la partie avancée de la passerelle recouvrant la cuve-avant.

En raison des efforts que cette passerelle devait supporter de ce fait, nous avons dû la faire consolider en installant, en plus des épontilles, un arceau en fer à double T allant reposer de chaque bord sur les murailles du navire. Cette disposition était un acheminement tout indiqué à l'établissement, à l'aide de cet arceau, d'une passerelle transversalle ayant le même objet que celle de la *Charente*. En outre, dans l'avenir et avec les moyens du bord, la passerelle pourra être prolongée, également comme sur la *Charente*, jusqu'au gaillard d'avant, pour permettre aux ingénieurs de se porter facilement du kiosque central

à la plate-forme-avant ou inversement et rendre ainsi facile et rapide une communication indispensable.

Machinerie d'immersion. — Cette machinerie comprend un holding-back et une machine d'immersion proprement dite.

Le holding-back est en tout semblable à celui qui existe sur la *Charente.* Il a été installé contre la paroi bâbord du roof de la machine à laquelle il est fortement fixé en même temps qu'au pont.

La *machine d'immersion* comporte (*fig.* 45) un tam-

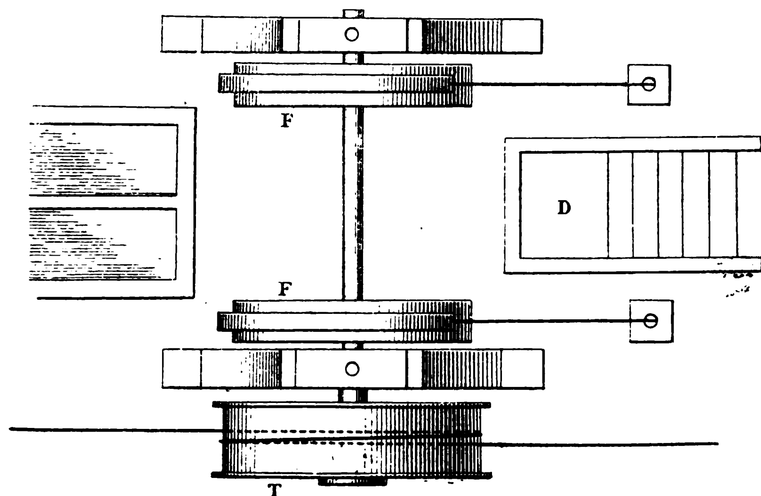


Fig. 45.

bour T monté en porte-à-faux sur un arbre et deux freins FF distincts montés sur le même arbre. Cette dernière disposition a dû être adoptée par suite de l'emplacement de l'entrée du carré des officiers D. Le tambour et les freins de l'ancienne machine ont été utilisés, l'arbre et les bâtis ont été établis en vue de la nouvelle disposition d'ensemble.

Mais avant d'admettre l'utilisation des freins existant sur l'*Ampère*, nous voulûmes avoir la certitude qu'ils étaient assez solidement construits pour permettre l'immersion de gros câbles comme les câbles franco-anglais dont notre service allait avoir l'entretien.

De plus, ces freins, constitués à l'aide de rubans métalliques munis de sabots en bois, étaient fixés à l'extrémité d'un diamètre sur un bâti et terminés à l'extrémité opposée par deux écrous reliés par une vis de serrage que l'on manœuvrait à la main à l'aide d'un volant; ils étaient d'un fonctionnement absolument défectueux et nous jugeâmes devoir substituer au serrage par la vis, l'action d'un levier chargé de poids variables ainsi que le comportait la machinerie de la *Charente* (*fig.* 26) avant sa transformation. Toutefois, nous supprimions le poids installé sous le pont et nous nous réservions d'adopter une disposition particulière pour obtenir les variations relativement faibles de la résistance du frein en cas d'immersion par des fonds uniformes.

Nous déterminâmes, en conséquence, ainsi qu'il suit, le travail maximum qui devait être demandé aux freins : les câbles franco-anglais pèsent 7 à 8 kilogrammes le mètre; nous admîmes alors l'hypothèse qui ne se réalisera jamais d'un câble pesant 20 kilogrammes le mètre à immerger par 60 mètres de fond, profondeur maxima de la Manche et à la vitesse de 5 nœuds, soit un filage d'environ 10.000 mètres de câble à l'heure et de $2^{m},78$ par seconde.

60 mètres de câble pesant, dans notre hypothèse, 1.200 kilogrammes, les freins devaient, pour empêcher toute accélération, développer un travail de

$$1.200 \times 2,78 = 3.336^{kgm}.$$

Les diamètres des tambours du câble et de ceux des freins étant respectivement de $1^m,83$ et de $1^m,53$, la vitesse de glissement aux freins devait être de

$$2,78 \times \frac{1,53}{1,83} = 2^m,32,$$

et par suite le frottement des freins :

$$\frac{3.336}{2,32} = 1.430^{kg}.$$

Nous demandâmes que l'étude du frein fût faite d'après ces bases, en joignant à notre programme une note de M. Chauvelon dont nous avons cité le nom à propos de la construction du carneau de la nouvelle chaudière de l'usine et qui, ayant étudié la question très complexe du mode de répartition des forces en jeu dans un frein à ruban, avait donné les formules des relations existant entre elles et permettant de les calculer.

M. Lecat, dont nous avons reproduit une note concernant le dynamomètre de l'*Ampère*, établit un projet d'utilisation des anciens freins d'où il résultait que la charge P, suspendue à l'extrémité d'un levier L de $1^m,50$ et ayant une valeur maxima de 175 kilogrammes dans le cas le plus défavorable où la partie supérieure du ruban fonctionnerait seule, suffisait à étaler le câble en immersion, et qu'en aucun point des sabots la pression sur le tambour du frein ne dépasserait 2 kilogrammes par centimètre carré.

Le fonctionnement simultané des deux parties du ruban que l'on obtient à l'aide d'un ridoire permettant de tendre plus ou moins la tige OF, réduisait la pression maxima à 1 kilogramme; enfin l'emploi simultané des deux freins, tout en réduisant la charge par frein

à 85 ou 90 kilogrammes, achevait de donner une entière sécurité au double point de vue du mode de construction des freins et de leur efficacité.

Nous avons dit que nous nous étions réservés de munir le levier d'une disposition permettant, une fois le réglage des freins à peu près réalisé avec une charge convenable P, d'obtenir les petites variations de la résistance opposée par le frein en cas d'immersion par des fonds uniformes. Nous avions songé, à cet effet, à faire appuyer sur le levier une sorte de came à rayon progressif commandée par une petite roue à manettes. Mais cette disposition était de réalisation difficile pour permettre au système de suivre les oscillations du levier. M. Lecat a imaginé le dispositif suivant aussi efficace qu'ingénieux : le levier L (*fig.* 46) qui com-

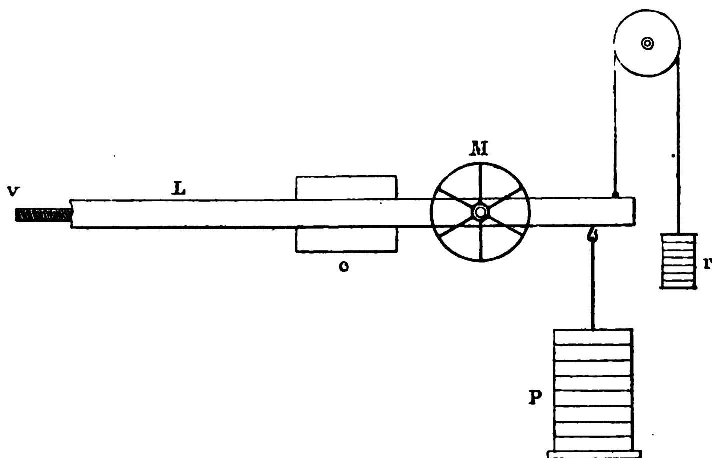


Fig. 46.

mande le ruban du frein est double; un curseur C peut glisser entre les deux tiges le long d'une vis sans fin *v*; son mouvement est obtenu à l'aide d'un petit volant M

et de deux pignons d'angle. Pour que le déplacement du curseur soit rapide, la vis est à triple filet et son pas de 24 millimètres.

Lorsque le poids P est supprimé et que le curseur est amené à sa position limite, le plus près possible du point de fixation du levier, le frein doit se desserrer; un contrepoids *p*, relié au levier par une chaîne passant sur une poulie, fait alors équilibre au levier et au curseur et en annule les effets sur les rubans du frein.

Pour éviter les effets du roulis, les poids P et *p* sont guidés dans leur course.

Le curseur *c* a un poids de 35 kilogrammes et, en cas d'immersion par des profondeurs de 15 à 18 mètres, il suffit seul au réglage des freins lorsqu'on opère sur des câbles de poids ordinaire comme nos câbles côtiers.

Bouées. — Dans les travaux côtiers de l'*Ampère*, on n'employait jusqu'en ces dernières années que de petites bouées en tôles, biconiques ou ovoïdes, qui n'étaient en réalité que de simples flotteurs. A l'occasion de travaux un peu importants que nous eûmes à exécuter dans le Raz-de-Sein et au groupe de Belle-Ile en 1891, nous avions fait confectionner, par les moyens du bord, à l'aide de barriques en bois, de véritables bouées qui, pourvues de ferrures pour recevoir une hampe de pavillon et d'un contrepoids, pouvaient être aperçues de loin.

L'*Ampère* devant servir à l'avenir à la réparation de câbles ayant 50 à 60 milles de développement, comme celui du Havre à Beachy-Head, il était nécessaire de munir ce navire de bouées capables de porter un assez large pavillon et d'être vues à 2 ou 3 milles de dis-

tance. La Commission avait, dans ce but, réservé une somme de 6.000 francs pour l'achat de quatre bouées moyennes en tôle; les prix qui nous furent proposés furent tels que nous demandâmes à l'administration de substituer aux bouées en tôle des bouées en bois

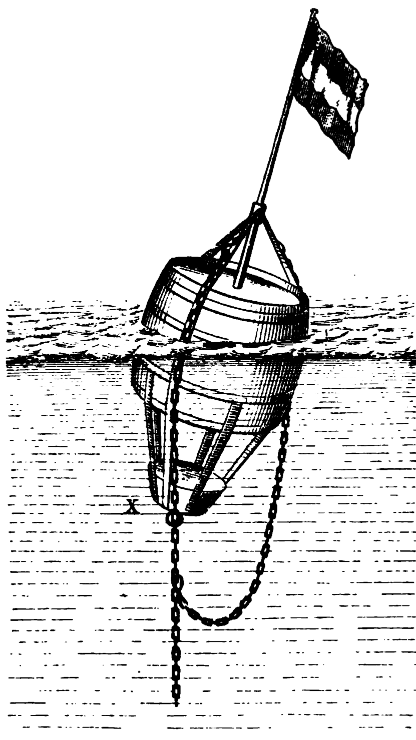


Fig. 47.

construites très solidement. Chacune d'elles a coûté moins de 300 francs. Ce sont des barriques en bois de chêne choisi, à douves renforcées de $1^{m},06$ de diamètre et de $1^{m},08$ de hauteur, fortement cerclées avec les ferrures et la douille nécessaires à l'installation d'un

pavillon, les ferrures destinées au gréement ordinaire des bouées et, enfin, à la partie inférieure, un contre-poids pour assurer la stabilité.

Ces bouées (*fig.* 47) ont un déplacement total de 920 décimètres cubes; elles pèsent 112 kilogrammes. En supposant qu'elles émergent de l'eau du tiers de leur hauteur elles peuvent, indépendamment de leur gréement, supporter une charge de 400 kilogrammes de filin ou de câble. Elles sont donc plus que suffisantes pour les besoins du service dans la Manche.

Deux portemanteaux provenant de la *Charente* ont été installés à l'avant de l'*Ampère* pour le service de ces bouées.

Dépenses. — La commission avait proposé d'affecter aux travaux de l'*Ampère*, y compris l'acquisition des bouées et l'installation d'un treuil à vapeur une somme de 59.000 francs.

Tous les travaux projetés ont été exécutés à l'exception de l'installation d'un treuil à vapeur, la place faisant absolument défaut sur le pont.

Les dépenses faites ont été les suivantes :

Deuxième cuve en tôle	5.580f,00
Ensemble de la machinerie à forfait	55.080 ,00
Consolidation et réparation du pont, installation de la machinerie	33.692 ,50
Total	93.962f,50

Nous devons faire remarquer que la commission n'avait prévu qu'une somme de 1.000 francs pour la consolidation du pont; mais que son remplacement intégral a été reconnu nécessaire. L'administration avait affecté 20.000 francs à l'installation des machines et aux réparations indispensables; on voit que

bien que nous n'ayons autorisé que les travaux absolument nécessaires, la réparation du navire, dont les murailles en fer sont surmontées de bastingages en bois, a entraîné un chiffre de dépenses élevé. La raison en est qu'un navire ayant plus de trente années d'existence peut encore, s'il a été bien entretenu, présenter un aspect de solidité rassurant, mais que lorsqu'on y touche, pour effectuer un changement de dispositions ou une installation nouvelle, on est amené de proche en proche à un travail beaucoup plus important que celui qui avait été prévu. En cherchant, en effet, des parties entièrement saines sur lesquelles on puisse prendre des points d'appui, on en découvre constamment de nouvelles pourries et affaiblies, et il faut alors pousser plus loin l'enlèvement des parties à remplacer et accroître le montant des réparations.

Conclusion. — Les travaux de l'*Ampère* ont été entrepris sur la déclaration des constructions navales, que la coque de ce navire était en assez bon état pour les justifier. Nous n'avons pas eu de raisons pour faire procéder sur ce navire à la visite de la coque et de ses parties basses masquées par sa machine motrice ou par la cuve centrale existant depuis son affectation au service des câbles. Aussi, sommes-nous loin d'avoir à son endroit la même confiance que dans la *Charente*, quant à sa durée; notre opinion est au contraire que dès que l'administration disposera des crédits nécessaires pour doter le service d'un puissant navire, la *Charente* devra venir prendre la place de l'*Ampère* dans la Manche et l'Océan.

Cette réserve faite, nous avons la conviction bien établie que l'*Ampère* est aujourd'hui pourvu d'un ou-

tillage qui lui permettra de répondre à tous les besoins du service d'entretien des câbles de la Manche; l'absence d'un moteur pouvant commander la machine d'immersion est peut être la seule critique sérieuse qui puisse être faite de son outillage, encore est-il possible qu'à peu de frais on puisse, à défaut de moteur, installer un système de mise en train à bras qui évite aux épissures, venant d'être mises à l'eau, les accidents dus à l'évitage du bâtiment ou à la traction exercée sur le câble pour vaincre les frottements et les résistances du bord.

L'*Ampère* pouvait, avant la transformation de son outillage, recevoir un chargement de 370 tonnes environ. Il est pourvu de deux cuves qui pourraient emmagasiner environ 160 kilomètres de câbles de grand fond, 100 de câble intermédiaire et 50 de câble à double armure; mais ces quantités ne doivent pas être atteintes pour qu'il puisse être maintenu dans de bonnes conditions de navigation.

Son chargement permanent se compose de :

La machine de relèvement avec son moteur à l'avant.	15 tonnes ;
La machinerie d'immersion à l'arrière holding-back poulies, etc.	8 —
Deux cuves avec leurs assises dans la moitié avant . .	20 —
Plus un outillage spécial	5 —
En tout.	48 tonnes

Si à ces 48 tonnes on en ajoute 90 de charbon, on arrive à ce résultat qu'on dispose d'un poids d'environ 230 tonnes, que le navire pourrait embarquer comme chargement s'il était convenablement réparti; mais, d'une part, les cuves se trouvent sur l'avant, d'autre part, elles sont insuffisantes pour recevoir une longueur de câble correspondant à ce poids. Le char-

gement en câble ne peut donc pas, pour ces motifs, dépasser 120 à 130 tonnes; aussi, si l'*Ampère* est pourvu d'un water-ballast, est-il bien rare qu'il y ait lieu d'en faire usage, car la diminution du câble sur l'avant, à mesure qu'une immersion avance, ne fait, le plus souvent, qu'améliorer les conditions de navigation.

Ed. MORRIS.

L'Éditeur-Gérant : Vve CH. DUNOD et P. VICQ.

PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1895 Juillet-Août

CONSTITUTION, ÉTABLISSEMENT ET RACCORDEMENT

DES CABLES SOUTERRAINS

DU

RÉSEAU TÉLÉGRAPHIQUE ET TÉLÉPHONIQUE DE PARIS

Je résume ici le petit cours que je fais tous les ans à l'École des soudeurs. Ce cours, on le conçoit, est essentiellement pratique et n'a d'autre but que de faciliter l'apprentissage des élèves et de leur permettre de raisonner leur travail.

Il se divise en quatre parties :

1° Câbles d'usage courant ;
2° Soudures ;
3° Construction des lignes souterraines ;
4° Entretien et réparation.

PREMIÈRE PARTIE.

DES CABLES.

Caractères communs. — Un *câble* est formé par un certain nombre de conducteurs en cuivre recouverts d'une matière isolante, groupés et enroulés ensemble. Le nombre des conducteurs peut varier de 1 à 100 suivant les besoins.

Nombre des conducteurs. — Pour le service télégraphique, les câbles à 1, à 3, à 5 et à 7 conducteurs sont les plus employés. Le service téléphonique, qui exige un double fil pour une seule communication compte par paires. Ses câbles sont ordinairement de 1, ..., 7, 28, 56 et même 112 paires.

Le toron. — Le conducteur se compose d'abord d'une partie métallique, presque toujours en cuivre, destinée à conduire le courant. Elle est formée de plusieurs brins cordelés ensemble, d'où le nom de *Cordelette*. On donne aussi et plus souvent à ce faisceau de brins le nom de *toron*. On aurait pu adopter un fil unique, mais le toron a été préféré comme plus flexible et moins exposé à se rompre.

Matière isolante. — Le cuivre est recouvert d'une matière isolante qui est tantôt la gutta-percha, tantôt des perles en bois paraffiné, comme dans le système Fortin, tantôt du papier, tantôt une composition spéciale. Nous étudierons plus tard et en détail chacun des systèmes en usage.

Le conducteur. — Le cuivre recouvert de son enveloppe isolante forme le conducteur.

Groupement des conducteurs. — Chaque groupe de

conducteurs est recouvert dans son ensemble soit d'un matelas de filin ou de rubans tannés, s'il doit être placé dans une conduite en fonte, soit d'une gaine de plomb s'il doit être posé dans les galeries, soit d'une armature en fils de fer ou d'acier s'il doit traverser une rivière ou reposer en terre sans emprunter les conduites en fonte.

Enveloppes protectrices. — Le tuyau, la gaine de plomb, l'armature forment l'enveloppe protectrice du câble contre les chocs extérieurs.

Différents types de câbles.

Maintenant que nous connaissons les caractères communs à tous les câbles, nous allons étudier séparément les types en usage.

Sur le réseau télégraphique de Paris, on emploie :

1° Les câbles isolés à la gutta-percha ;
2° Les câbles à perles (système Fortin) ;
3° Les câbles Fowler-Waring.

Sur le réseau téléphonique :

1° Les câbles en gutta-percha ;
2° Les câbles à perles ;
3° Les câbles sous papier.

1° Câbles sous gutta-percha.

Ce sont les plus nombreux. Ils se composent :

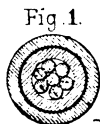
1° D'un toron en cuivre ;
2° D'une enveloppe en gutta-percha ;
3° D'un guipage particulier à chaque conducteur ;
4° D'une enveloppe commune à tous les conducteurs.

1° *Le toron.* — Le toron est ordinairement composé de 7 brins de cuivre. Mais on trouve sur le réseau des torons de 3, 4 ou 5 brins. Le diamètre du brin varie avec le modèle du câble. Il est de 5/10 de millimètre pour les câbles urbains ; de 7/10 pour les câbles destinés à être reliés aux fils aériens internationaux ou de grande communication. Le toron formé de brins de 5/10 correspond au fil de fer de 4 millimètres ou au fil de cuivre de 13/10 de millimètre, et le toron en brins de 7/10 au fil de fer de 5 millimètres ou au fil de cuivre de 19/10 de millimètre. Sur les lignes dites à grande distance, on trouve des torons en brins de 6/10, de 7/10 et demi et même de 8/10,7.

Importance de la distinction des brins. — C'est au nombre et à la grosseur des brins qu'un surveillant reconnaît tout de suite le modèle auquel appartient un câble. Cette observation à une grande importance dans la recherche des dérangements, comme nous le verrons plus tard.

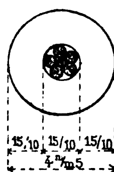
2° *Enveloppe en gutta-percha.* — Nous étudierons de plus près la gutta-percha lorsque nous traiterons des soudures. Qu'il suffise, pour le moment, de savoir que le toron est recouvert de deux couches de gutta alternant avec deux couches de composition Chatterton, la première couche de chatterton étant appliquée sur le cuivre (*fig.* 1).

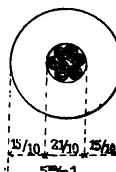
Fig. 1.



Son épaisseur. — L'épaisseur de la double couche de gutta-percha varie avec les types de câbles. En général, elle est plus forte sur les torons à gros diamètre, mais la règle n'est pas constante. Ainsi les deux types principaux de câbles télégraphiques, le B et le C,

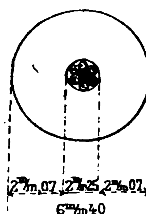
dont l'un a 7 brins de 7/10 et l'autre 7 brins de 5/10, possèdent la même épaisseur d'enveloppe 15/10. Toutefois le diamètre du fil recouvert est plus grand pour le B, à cause de la plus grande épaisseur du toron. Il est de $5^{mm},1$, tandis que celui du C n'est que de $4^{mm},05$.

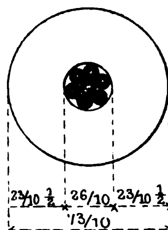


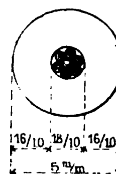


Voici le tableau des diamètres du conducteur (*fig.* 2, 3, 4, 5, 6) dans les principaux câbles télégraphiques :

(*Fig.* 2)	Câble modèle	87/5	(C)	$4^{mm},5$	
(*Fig.* 3)	—	87/7	(B)	5 ,1	
(*Fig.* 4, 5 et 6)	—	83/8	Modèle de câble à grande distance	5 ,0	fil M
				6 ,4	— G
				7 ,3	— GG
	—	87/4	(D)	3 ,5	







Câbles téléphoniques :

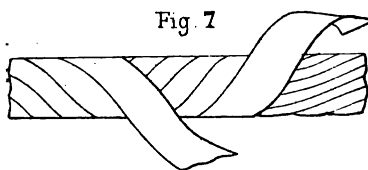
Câble modèle	84/1	(2 conducteurs, 3 brins)	$3^{mm},5$
—	84/2	(14 conducteurs, 3 brins)	3 ,0

Ces différences de diamètres permettent de reconnaître à première vue le modèle du câble.

3° *Guipage particulier à chaque conducteur.* — Chaque conducteur est revêtu d'un guipage en filin

tanné enroulé par-dessus la gutta-percha. Depuis quelque temps, on emploie des guipages de couleurs différentes qui permettent de distinguer les conducteurs. Cette heureuse innovation facilite singulièrement les recherches et évite bien des erreurs. On y supplée en marquant aux soudures le fil n° 1 d'une perle de gutta, et le fil n° 2 de 2 perles.

4° *Enveloppe commune.* — Lorsque les conducteurs, groupés en nombre voulu, ont été câblés sur un pas de spire de 75 centimètres environ on enveloppe l'ensemble de deux rubans tannés enroulés en sens inverse (*fig.* 7).


Fig. 7

Si le câble doit être enfermé dans des conduites en fonte, on l'emploie tel qu'il vient d'être décrit.

S'il doit être posé en galerie, on l'introduit dans une gaine en plomb dont l'épaisseur varie de 1^{mm} à $1^{mm},05$.

S'il doit recevoir une armature, on prend quelques précautions supplémentaires, qu'il est utile de faire connaître. Tantôt on pose l'armature sur le guipage; tantôt on maintient la gaîne de plomb et on dispose l'armature sur le plomb.

1° *Câbles armés, sans gaine de plomb.* — Le câble ordinaire sous guipure est recouvert d'un matelas supplémentaire de filin tanné de 2 millimètres d'épaisseur environ, puis d'une armature de 14 ou 15 fils de fer galvanisé de 4 millimètres de diamètre. Par-dessus l'armature deux guipages de filin sont enroulés en sens inverse et imprégnés d'une matière bitumineuse.

Telle est la spécification des modèles n° 83/9, 83/9bis, 83/9ter de l'Administration, modèles que l'on peut être appelé à réparer en province. On rencontre aussi le 83/10 qui est enveloppé d'une double armature, la première de 18 fils de 3 millimètres, la deuxième de 18 fils de 5 millimètres, séparés entre elles par un second matelas de filin tanné.

2° *Câbles armés, avec gaine de plomb.* — Le câble sous plomb ordinaire est revêtu d'une armature de 24 fils de fer galvanisé de 2^mm,05 de diamètre, et l'armature elle-même est recouverte de deux rubans de toile bituminée enroulés en sens inverse. C'est le modèle 87/14bis de l'Administration.

Diamètre des câbles. — Il importe de se familiariser avec les diamètres des différents câbles, afin de ne pas se tromper dans les recherches de dérangements. Les numéros en zinc attachés aux câbles sont quelquefois très éloignés ; quelquefois encore ils ont disparu. En se guidant sur les diamètres, le surveillant, placé en face d'un faisceau de 8 ou 10 câbles, parviendra à en éliminer un certain nombre n'appartenant pas à la catégorie cherchée et, en supposant que toute marque ait disparu, il restreindra son choix à un nombre très limité.

Voici un tableau des diamètres extérieurs des câbles ordinaires :

81/15	Câble à 1 conducteur sous plomb [modèle (C)]. . .	8^mm
81/17	— — — (B) . . .	11
83/15	Câble à 3 conducteurs sous plomb C.	15
83/18	— — (2 M 1 G).	17
85/15	Câble à 5 conducteurs sous plomb (C)	19
87/5	Câble à 7 conducteurs sous guipage (C)	18
87/7	— — B.	20
87/15	Câble à 7 conducteurs sous plomb (C)	20
87/17	— — (B)	23
87/17	— — A.	26

2° Câbles Fortin.

Ils sont formés :

1° D'une âme métallique,
2° D'une enveloppe de perles ;
3° D'une gaine de plomb.

1° *Ame métallique.* — L'âme est formée d'une cordelette en brins de cuivre, qui ne diffère en rien de celle des câbles en gutta-percha.

2° *Enveloppes de perles.* — La cordelette est recouverte et isolée par des perles en bois paraffiné cylindriques, enfilées les unes à la suite des autres sans intervalle. Le diamètre des perles varie avec la grosseur de la cordelette. Le conducteur ainsi recouvert de son isolant offre à peu près les mêmes dimensions que le conducteur sous gutta.

Les conducteurs sont câblés suivant l'usage.

3° *Gaine de plomb.* — La gaine de plomb qui recouvre l'ensemble des conducteurs est en contact avec les perles. Elle est plus épaisse que dans les câbles en gutta. Cette épaisseur va de 2 millimètres (câbles de 1 à 4) jusqu'à 3 millimètres (câbles de 5 à 14). La gaîne de plomb formant la seule protection du câble à perles, il est facile de comprendre pourquoi on en augmente l'épaisseur.

Voici un tableau des diamètres extérieurs :

Câble à 2 conducteurs	(5 brins)	12mm,50
	(7 brins)	13
Câble à 14 conducteurs	(3 brins)	25
	(5 brins)	29
	(7 brins)	29
Câble à 10 conducteurs (télégraphiqne)	(7 brins)	29

3° Câbles Fowler-Waring.

Le toron de cuivre est le même que celui adopté pour les autres câbles. Ce qui différencie le câble Fowler-Waring, c'est la matière isolante employée. Elle consiste en une composition spéciale où entrent des huiles lourdes, appliquée au moment de l'ébullition sur le cuivre et sur les enveloppes.

Chaque conducteur est recouvert séparément d'un ruban de coton et l'ensemble des conducteurs câblés est lui-même enveloppé de bandes de toile, le tout noyé dans la composition dont nous avons parlé.

Le câble ainsi formé est introduit dans un tube en plomb de $2^{mm},50$ d'épaisseur. Ici, comme dans le câble Fortin, l'épaisseur du plomb doit être suffisante pour garantir la matière isolante contre l'humidité.

Le câble Fowler-Waring s'emploie quelquefois armé. Son armature se compose de 33 fils d'acier de 2 millimètres seulement. De plus, entre le plomb et l'armature, le fabricant intercale une couche d'un enduit spécial; il en ajoute une deuxième par-dessus l'armature.

Les diamètres des câbles Fowler-Waring sont les suivants :

Câble à 5 conducteurs.	16^{mm}
Câble à 7 —	17
Câble armé à 7 conducteurs.	23

DEUXIÈME PARTIE

DES SOUDURES

1° Soudure des câbles sous gutta-percha.

Matières employées. — Les matières employées dans la soudure sont :

1° La gutta-percha;
2° La composition Chatterton;
3° Le ruban tanné.

1° *La gutta-percha.* — La gutta-percha est un produit végétal auquel on fait subir diverses manipulations pour l'amener à l'état que l'on connaît.

La gutta se ramollit et perd ses propriétés d'isolement sous l'action de la chaleur. A partir de 30°, elle ne suffit plus à protéger le conducteur.

Soins des rouleaux. — Les rouleaux de gutta-percha en bande qui sont livrés au surveillant doivent, autant que possible, être mis au frais et surtout rester soigneusement enveloppés.

Qualité. — On s'aperçoit que la gutta est altérée, lorsqu'elle se boursoufle sous la lampe, qu'elle se pétrit difficilement et se soude mal à elle-même.

2° *Composition Chatterton.* — Cette composition, dans laquelle entre de la poix de Norvège (exactement 3 parties de gutta, 1 partie de résine, 1 partie de goudron de Norvège), sert à faire adhérer la gutta au cuivre et les couches de gutta entre elles.

Propreté. — Le bâton de chatterton doit, comme le rouleau de gutta, être tenu très proprement et ne pas être jeté, comme on le fait quelquefois, sur le sol ou sur une planche malpropre; sinon la poussière s'y attache et reste dans la soudure, qu'elle rend défectueuse.

Usage modéré. — Il faut user avec modération de la chatterton. Mise en trop grande quantité, elle rend la gutta résineuse et cassante.

3° *Ruban tanné.* — Le ruban ne joue qu'un rôle secondaire dans les soudures. On l'emploie pour recouvrir séparément, puis en bloc, les conducteurs soudés. Il sert de matelas et empêche le manchon, en glissant, d'érafler la gutta.

Outillage du soudeur.

Un fourneau de plombier;

Une lampe à alcool à jet de flamme;

Une lampe à alcool avec enveloppe cylindrique percée de fenêtres;

Deux fers à polir la gutta (en acier);

Une pince coupante;

Deux pinces plates;

Un couteau;

Des ciseaux courbés;

Des chiffons propres.

Précautions à prendre. — Il est de toute nécessité que le soudeur ait les mains très propres. Il doit se les laver avant chaque opération et les essuyer avec un linge très blanc. Il doit veiller à ce que des parcelles du cuivre, qu'il a coupé en régularisant l'épis-

sure, n'adhèrent pas à ses doigts. Dès qu'il a entrepris le pétrissage de la gutta-percha, il ne doit plus toucher d'objet étranger à son travail. L'aide, qui se tient à côté de lui, prépare les matières ou l'outillage et les lui passe.

Le soudeur ne doit jamais passer son fer sur la gutta avant de l'avoir essuyé sur un chiffon étalé devant lui.

Le fer ne doit pas être trop chaud; l'extrémité doit présenter une teinte bleu pâle. Approché de la joue, il donne une impression de chaleur douce.

Confection des soudures. — On commence par enlever le guipage commun, ainsi que le plomb ou l'armature s'il y a lieu, aux deux extrémités du câble à souder, et sur une longueur de $0^m,40$. On débarrasse les conducteurs de leur guipage particulier. Les conducteurs se présentent à l'état libre, simplement revêtus de leur gutta (*fig.* 8). On les rapproche ensuite bout à bout, en opposant le fil 1 au fil 1, le 2 au 2, ainsi de suite, et en échelonnant les points de croisement *a*, *b*, *c* (*fig.* 9). On rogne les sections trop longues en les laissant déborder l'une sur l'autre de $0^m,05$ environ. Le faisceau présente alors la forme ci-contre (*fig.* 10). Il importe de bien prendre ses mesures pour qu'après l'épissure, tous les fils aient la même longueur.

Fig. 8.

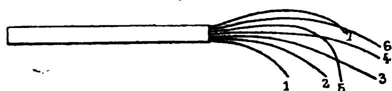


Fig. 9

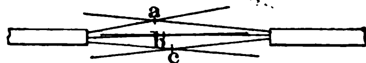
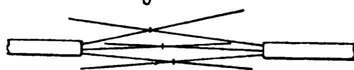
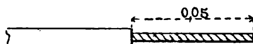


Fig. 10.



Épissure. — Pour faire l'épissure ou la jonction des cuivres, on enlève la gutta sur les deux conducteurs correspondants et on met le toron à nu sur une longueur de $0^m,05$ (*fig.* 11). En taillant la gutta, le surveillant a pris soin de ne pas entamer le cuivre avec son couteau. Il déroule le toron et nettoie séparément les brins avec le dos de la lame. Lorsqu'ils sont bien luisants, il prend une pince plate et refait exactement le toron primitif sur une longueur de $1^{mm},5$, puis il partage les brins en deux faisceaux, l'un de 3, l'autre de 4 (*),

Fig. 11



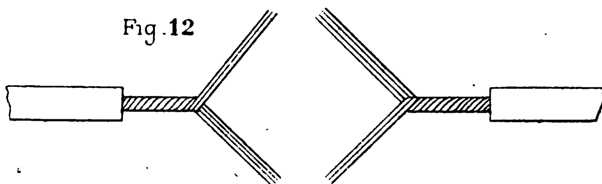


Fig. 12

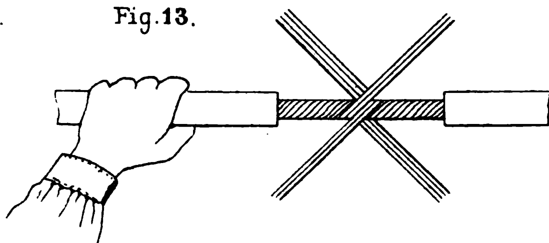
disposés en éventail (*fig.* 12). Les torsades sont ensuite rapprochées de façon à s'emboîter et à entrecroiser leurs faisceaux, tout en restant sur le même axe.

Le soudeur, qui tient le conducteur de la main gauche, rabat, avec la droite, les faisceaux sur le toron opposé, et les enroule alternativement dans le sens du câblage, en alignant symétriquement les brins, dont il rogne, s'il y a lieu, la longueur excédante (*fig.* 13).

Il prend ensuite deux pinces plates, dont les dents ont été préalablement adoucies par la lime, saisit le milieu de la torsade avec l'une et, de l'autre, il tord

(*) Sur les torons à 7 brins. En deux faisceaux égaux sur les torons de 4 brins.

les faisceaux dans le sens de la ligature en les serrant et en les régularisant.


Fig. 13.

L'épissure, qu'on appelle aussi *torsade* ou *tortillard*, présente la forme ci-contre (*fig.* 14). Elle doit être bien lisse, bien égale, ne pas présenter de fils chevauchant les uns sur les autres et avoir les extrémités des brins bien rabattues. Longueur, 3 centimètres.

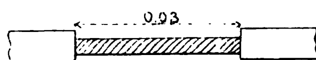
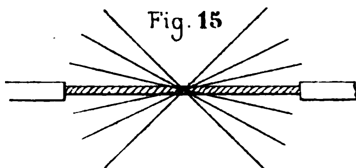


Fig. 14

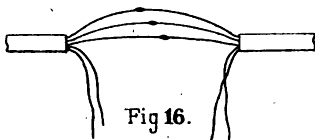
Un deuxième procédé pour confectionner l'épissure consiste à couper le brin central et à disposer les six autres brins en forme de cône. On amène les deux cônes l'un contre l'autre, en entre-croisant les fils un à un et on enroule symétriquement ces derniers sur le toron opposé, on régularise ensuite avec les pinces plates, comme plus haut (*fig.* 15).


Fig. 15

La torsade ainsi obtenue est un peu plus petite et un peu plus régulière.

Quel que soit le système employé, il ne faut jamais oublier, quand on a fait une épissure sur un câble à plusieurs conducteurs, de comparer le conducteur

qu'on vient de raccorder avec ceux qui l'ont été précédemment, pour voir s'il a la même longueur *exactement* (*fig.* 16). Recommencer l'épissure, si on constate une différence.


Fig 16.

Soudure à l'étain. — A Paris, on ne soude pas la torsade à l'étain, mais cette précaution devient indispensable sur les lignes souterraines à longue distance.

Superposition de la gutta. — L'épissure terminée, le soudeur l'essuie avec un linge en soufflant par-dessus pour enlever les poussières métalliques, puis il se lave soigneusement les mains. Il taille ensuite, en forme de crayon, les bords de la gutta (*fig.* 17), à cause des parcelles de cuivre qui ont pu y pénétrer. Après avoir chauffé légèrement l'épissure à l'aide d'une lampe à alcool, il la tamponne avec le bâton de chatterton, dont le bout a été ramolli à la lampe, et il égalise cette mince couche avec le fer chaud que l'aide vient de lui passer.

Fig.17



Fig.17.



Dans cette première opération, les bords de la gutta doivent être touchés par le fer, qui les ramène, en les amincissant, vers le milieu de la torsade.

C'est au moment où torsade, chatterton, gutta des bords sont chauffées par le fer, qu'on applique le ruban de gutta qui doit former la soudure.

L'aide a coupé sur le rouleau un bout de 6 à 7 centimètres environ, l'a chauffé en le tenant suspendu par une pince au-dessus de la flamme, jusqu'à ramol-

lissement complet, mais en évitant de surchauffer, et l'a présenté au soudeur. Celui-ci le prend avec ses doigts légèrement salivés et l'applique contre l'épissure, qui doit être enveloppée rapidement; il ramène les bords l'un contre l'autre et les presse fortement pour les marier. Il presse de même les extrémités pour faire adhérer la nouvelle gutta à l'ancienne, puis il enlève l'excédant avec des ciseaux courbes. Cette première partie de l'opération doit être menée très vivement, car la gutta ne se soude bien à elle-même que si elle est très chaude.

Tant que la gutta posée reste molle, le soudeur la pétrit avec ses doigts salivés et lui donne peu à peu la forme d'olive allongée ou de fuseau qu'elle devra garder.

Dès qu'elle se durcit, il la ramollit à la lampe et continue à pétrir. Il fait disparaître les inégalités et régularise le fuseau en promenant le fer chaud dans le sens de la longueur.

Fer chaud. — Le maniement du fer chaud exige une grande légèreté de main et une longue pratique; une fausse manœuvre suffit pour brûler la gutta ou déformer le fuseau ; le danger existe surtout aux extrémités, points de jonction de la nouvelle et de l'ancienne gutta.

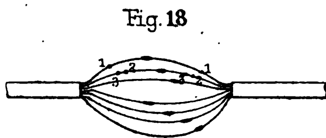
Le pétrissage et le ramollissement à la lampe continuent jusqu'à ce que la pâte, d'une teinte bien uniforme, ne présente ni raccord apparent, ni bulles d'air. On termine en lissant le fuseau avec les doigts fortement salivés (*fig.* 17).

La confection d'une soudure exige une heure de travail.

Lorsque les conducteurs ne sont pas distingués par

du filin coloré, on fixe une petite perle en gutta sur le fil n°s 1 et 2 perles sur le n° 2 (*fig.* 18).

Fig. 18



Voici quelles sont les qualités d'une bonne soudure :

1° Le fuseau ne doit pas dépasser 7 centimètres de longueur et son diamètre ne doit pas excéder le double de celui du conducteur;

2° Le toron doit être bien centré, c'est-à-dire se trouver exactement dans l'axe du fuseau (*fig.* 19);

Fig. 19.



3° La gutta-percha doit adhérer au cuivre et les extrémités du fuseau doivent se marier étroitement avec la gutta du conducteur, de telle sorte que, si on courbe le fuseau, il ne se produise pas d'hiatus aux extrémités ;

4° La pâte de la soudure ne doit renfermer ni bulles d'air, ni traces d'humidité. Elle doit être souple et se ployer sans cassure; si elle présente de petites craquelures, c'est qu'elle a été surchauffée;

5° Tous les conducteurs d'un même câble doivent, après la soudure, avoir exactement la même longueur (*fig.* 20). Si l'un était plus long, il formerait un coude dans le câblage et la gutta risquerait de se fendre.

Fig. 21.



Fig. 20.

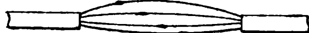
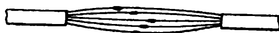


Fig. 22.



S'il était plus court, il supporterait tout l'effort de la traction dans le tirage (*fig.* 21 et 22).

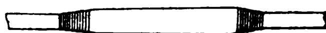
Guipage et manchonnage. — Lorsque les conducteurs formant le câble ont été soudés, on attend pour les grouper que la gutta soit complètement refroidie. Autrement, les soudures rassemblées et serrées s'applatiraient l'une contre l'autre et le cuivre serait décentré. Cette précaution prise, les conducteurs sont recouverts séparément d'un ruban tanné; ils sont ensuite assemblés et enveloppés en bloc par deux rubans tannés qu'on enroule en sens inverse et qu'on fixe avec du fil à ligature (*fig.* 23).

Fig. 23.



S'il s'agit d'un câble sous plomb, on glisse pardessus la couche de rubans un manchon en plomb préalablement passé sur le câble, on le fixe solidement à ses extrémités avec du fil à ligature; on enroule ensuite, par-dessus les joints des extrémités, du ruban goudronné qu'on maintient fortement avec du fil à ligature (*fig.* 24). Cette disposition a pour but de rendre les joints étanches.

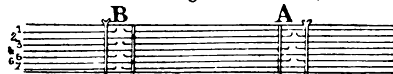
Fig. 24.



Sur les câbles armés, la soudure des conducteurs s'effectue de la manière déjà décrite. Il ne s'agit plus que de raccorder l'armature.

Au début de la réparation, on a dû couper les fils de fer qui constituent l'armature, mais on a eu soin de les couper inégalement. La soudure devant se faire entre A et B, par exemple (*fig.* 25), on coupe le fil 1 en B, le fil 2 qui vient ensuite en A, le fil 3 en B, le

Fig. 25



fil 4 en A et ainsi de suite en alternant, après quoi on relève les fils pour effectuer commodément la soudure des âmes. Celle-ci terminée, on la guipe et on rabat les fils de l'armature dans leur ordre primitif. Quand ils sont bien ajustés, on les serre avec du fil recuit de 2 millimètres, puis on enroule, par-dessus, du chanvre suiffé ou bitord qui forme un matelas que l'on comprime et que l'on maintient avec du fil recuit.

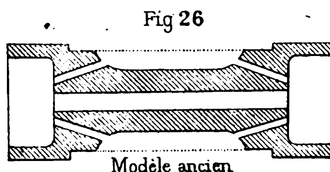
2° Soudure du câble Fortin.

Appareils et matières employés.

1° Un manchon en ébonite ;
2° Un manchon en plomb ;
3° Deux bagues en plomb ;
4° Soudure à l'étain, stéarine, etc.

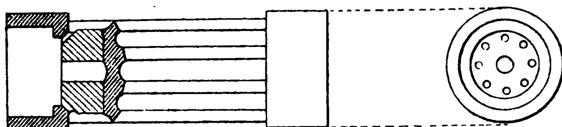
1° *Manchon en ébonite.* — Le manchon en ébonite, dans lequel se fait le raccordement des cuivres, consiste en un cylindre de 7 centimètres de longueur et d'un diamètre un peu plus grand que le diamètre du câble ; il est évidé à ses deux bouts sur une

Fig 26



Modèle ancien

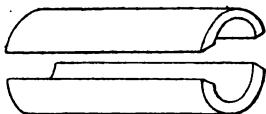
Fig. 27



profondeur de 10 millimètres et sur son pourtour sont creusées des gorges longitudinales, en nombre égal à

celui des conducteurs. Chaque gorge est numérotée. Des trous sont pratiqués dans le petit massif compris entre l'évidement et chacune des gorges. Un trou central plus gros est destiné au passage de l'air (*fig.* 26 et 27).

Fig. 28



Deux couvercles demi-cylindriques s'adaptant exactement recouvrent les rainures lorsque les raccordements sont effectués (*fig.* 28).

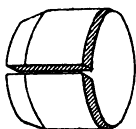
2° *Manchons en plomb.* — Un tube en plomb de $0^m,15$, taillé en biseau à ses extrémités et dont le diamètre intérieur est un peu plus grand que le diamètre extérieur du manchon en ébonite sur lequel il doit glisser (*fig.* 29).

Fig. 29.



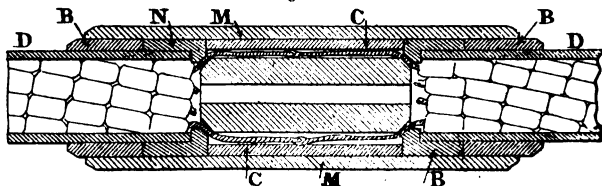
3° *Bagues en plomb.* — Deux bagues fendues longitudinalement sont destinées à combler le vide existant entre l'ébonite et les extrémités du manchon en plomb. Diamètre extérieur égal à celui de l'ébonite (*fig.* 30).

Fig. 30



La *fig.* 31 représente l'agencement de

Fig. 31



ces trois pièces : MM, le manchon en plomb ; NN, le

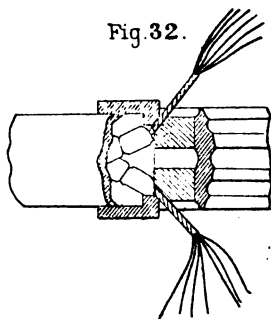
manchon en ébonite avec son couvercle CC; BB, sont les bagues, et DD, le câble figuré coupé à son entrée dans les bagues.

Outillage.

Un étau en hêtre:
Une molette à couper le plomb;
Une lampe à alcool (à jet de flamme);
Une pince de plombier;
Une pince à sertir;
Une pince de bonnetier;
Une pince coupante;
Une lime demi-ronde.

Soudures.

1° *Raccordement des cuivres.* — Les deux extrémités à souder sont placées et maintenues dans un étau. On enlève le plomb au moyen d'une molette sur une longueur de 15 à 20 centimètres; puis, après avoir refoulé fortement les perles vers l'intérieur du câble, on les enlève jusqu'à l'épaisseur d'un doigt du plomb (exactement, on laisse deux perles en dehors de la gaîne) (*fig.* 32). Pour les arrêter, on coude le cuivre à angle droit.


Fig. 32.

Les fils étant tous dénudés, on introduit ceux qui appartiennent à un même bout de câble dans les trous de l'ébonite et, en tirant sur tous à la fois, on pousse les manchons jusqu'à ce que la gaîne de plomb

du câble s'emboîte dans l'évidement et vienne buter contre un épaulement.

Une perle occupe l'intervalle compris entre le plomb et le fond percé. Là est la partie délicate de l'opération ; si la perle venait à se briser ou à se retirer dans l'intérieur du câble, le bord du plomb porterait sur le cuivre mis à nu et la soudure serait défectueuse.

Lorsque tous les fils sont placés, on les arrête en les coudant fortement, puis on introduit les cuivres de l'autre extrémité du câble dans l'ébonite. Cela fait, on desserre l'étau et on rapproche cette autre extrémité jusqu'à ce que le plomb vienne s'engager dans l'évidement, comme la première fois. On ligature ensemble les deux torons qui aboutissent à la même gorge, avec les doigts d'abord, puis on serre et on tord avec la pince plate ; la torsade ainsi obtenue est couchée dans la gorge où elle est comprimée et régularisée à l'aide de la pince de bonnetier (pince plate aux mâchoires longues et effilées). Pour donner plus de résistance à la ligature, on la fait à la sortie de l'un des trous.

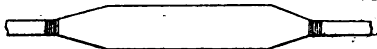
La torsade allongée dans la gorge ne doit jamais dépasser l'arête.

Lorsque tous les raccordements ont été effectués, on remet le couvercle en ébonite, on fait glisser les bagues jusqu'à ce qu'elles butent contre l'ébonite, on les comprime avec la pince de gazier et on passe le manchon en plomb sur le tout.

2° *Soudure du manchon en plomb.* — Le manchon amené sur l'ébonite est arrêté à égale distance des extrémités des bagues. La soudure en est faite d'après les procédés ordinaires ; on chauffe à la lampe à jet d'alcool, on enduit de stéarine et on pose l'étain en fusion aux extrémités. On aplanit avec un tampon en

soie trempé dans le suif, de façon à figurer un fuseau allongé ; on lime ensuite les aspérités et, si on veut obtenir de l'élégance, on trace deux petits cercles avec du vernis noir aux points de raccordement (*fig.* 33).

Fig. 33.



Un ouvrier et son aide peuvent faire une soudure complète du câble Fortin à 7 conducteurs en 2h 30. On remarquera que les gorges du manchon en ébonite étant numérotées, les conducteurs le sont par le fait.

3° Soudure du câble Fowler-Waring.

Les matières employées pour la soudure de ce câble sont : 1° la même composition isolante qui sert à la fabrication du câble, à l'état d'ébullition ; 2° du ruban spécial ; 3° de la soudure d'étain.

L'outillage est celui employé dans la soudure des autres câbles. On y ajoute un baquet en tôle allongé pour faire bouillir la matière et une cuiller à long manche pour la verser.

Soudure. — On commence par glisser un manchon et par dénuder les deux bouts de câble sur une longueur de 20 centimètres. Le cuivre étant à nu, on fait les torsades comme sur les câbles en gutta-percha, en les échelonnant ; en plus, on les soude à l'étain. Après s'être imprégné les mains de pétrole, le surveillant prend un ruban spécial qu'il trempe dans la matière en fusion (par petits rouleaux retenus par un fil de fer) et qu'il laisse surnager jusqu'à ce que les bulles d'air cessent de se dégager ; il en recouvre chacun des fils de cuivre, en l'enroulant en deux sens inverses. Les fils

recouverts sont trempés à nouveau dans le bain retiré du feu, pour éviter la brûlure du ruban qui descend au fond de la cuvette et se trouverait trop rapproché du foyer. On les retire et on les recouvre en bloc d'un nouveau ruban plus large que le premier et qui, comme lui, a été préalablement immergé dans la matière; mais on a soin d'arrêter l'enroulement à la limite du plomb. Les fils, ainsi groupés et recouverts, sont plongés une dernière fois dans le baquet jusqu'à entière dessiccation. On soulève le câble et on glisse rapidement le manchon, qui est ensuite soudé, comme le manchon Fortin. Ce manchon a été au préalable percé de deux petites ouvertures à 5 ou 6 centimètres de ses extrémités. Par ces ouvertures on verse, à l'aide d'une cuiller, de la matière en fusion jusqu'à refus, de telle sorte que le manchon se trouve exactement rempli. Les ouvertures sont ensuite fermées avec une goutte d'étain.

La confection d'une soudure Fowler-Waring n'exige pas moins de 3 heures.

C'est la dessiccation du ruban qui forme la partie importante du travail.

Pour retirer le manchon, dans les recherches de dérangements, il suffit de chauffer à la lampe d'abord l'étain qui s'enlève au ciseau, ensuite le manchon sur toute sa longueur : la matière devient fluide et s'écoule.

Même procédé pour une section de la gaine de plomb.

TROISIÈME PARTIE

CONSTRUCTION DES LIGNES SOUTERRAINES

Deux sortes de lignes souterraines :

1° Lignes en galerie;
2° Lignes en tranchée.

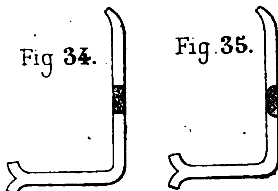
1° Lignes en galerie.

Notions générales. — Les câbles posés dans les galeries sont toujours protégés par une gaîne de plomb ou par une boîte en métal.

Ils reposent sur des crochets en fer galvanisé, de différentes formes, scellés dans la paroi en ligne droite et à 1 mètre de distance. Dans les égouts de Paris, la Ville se réservant la naissance de la voûte pour ses conduites d'eau, les câbles sont placés au-dessus et à $0^m,30$ au moins de la conduite.

Supports. — Voici un échantillon de chacun des supports en usage à Paris (service télégraphique).

D'abord, le support équerre. Trois modèles (*fig.* 34, 35) : le petit, le moyen et le grand. Ils sont tantôt à fer plat, tantôt à fer demi-rond. Le fer demi-rond offre l'avantage de ne pas avoir d'arêtes qui coupent le plomb, lorsque les câbles sont massés dans le support ou lorsque la ligne fait un coude.

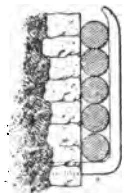

Fig 34. Fig. 35.

Le petit modèle a $0^m,14$ de hauteur sur $0^m,09$ de

tige à scellement; le moyen 0,19/0,13 et le grand 0,24/0,16.

Si on donne $0^m,06$ de scellement au petit modèle (*fig.* 36), il reste 3 centimètres de saillie qui permettent de loger 6 câbles C ou 5 câbles B à 7 conducteurs; mais si on réduit le scellement à $0^m,04$, la saillie de $0^m,05$ permet de loger deux câbles de front et le crochet peut supporter 12 câbles C ou 10 câbles B.

Fig 36

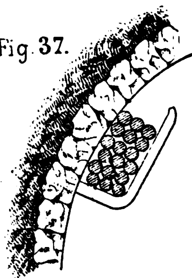


Le moyen modèle peut supporter 8 câbles et 7 conducteurs en hauteur. Par conséquent, suivant qu'on donne une saillie de 3, 6 ou 8 centimètres, on peut loger 8, 16 ou 24 câbles C, ou 7, 14, 21 câbles B.

Le grand modèle peut accepter, suivant la saillie, 10, 20, 30 C, ou 8, 16, 24 B (*fig.* 37).

Mais, dans la pratique, on évite de remplir complètement le crochet; on laisse un rebord de $0^m,02$ environ pour retenir les câbles supérieurs.

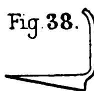
Fig. 37.



Remarquons, en passant, que la partie scellée ne doit jamais être inférieure à $0^m,04$ pour le petit modèle, ni à $0^m,055$ et à $0^m,07$ pour les moyen et grand modèles.

Crampons. — Le crampon est un support léger (*fig.* 38) facile à planter, qu'on utilise lorsque la ligne se réduit à un petit nombre de câbles, 8 à 9 à 1 conducteur, 4 à 5 à 3, ou 2 à 7 conducteurs au plus. Ils sont à petite ou grande queue, suivant que la paroi qui doit les retenir est régulière ou non.

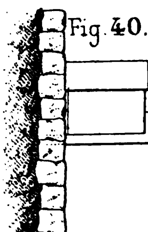
Fig. 38.

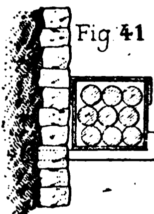


Boîtes. — Quelquefois les câbles sont logés dans des boîtes en zinc avec couvercle, comme dans les catacombes de Paris (*fig.* 39). Mais alors, ils ne sont plus protégés par une gaîne de plomb.


Fig. 39.

Les boîtes reposent sur des équerres spéciales, scellées dans la maçonnerie (*fig.* 40, 41).


Fig. 40.


Fig. 41

Enfin, vous trouverez, dans certains égouts de Paris, des crochets à longue tige destinés à supporter les câbles aux traversées difficiles (*fig.* 42).

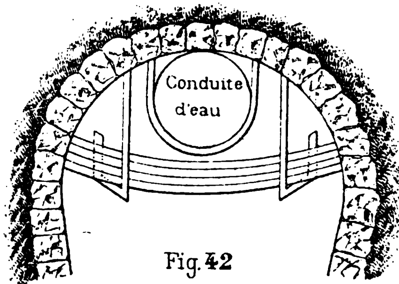


Fig. 42

Pose des lignes en galerie.

Précautions préliminaires. — Avant de s'engager dans une galerie quelconque, le chef d'équipe doit toujours s'assurer qu'il n'y a aucun danger à courir. Il se renseigne auprès des agents chargés de la surveillance. A Paris, c'est au piqueur de la section qu'il doit s'adresser.

Toute équipe doit être protégée en égout par un

ouvrier garde-plaque, qui se tient constamment au bord d'un regard ouvert et suffisamment rapproché pour que les signaux puissent être échangés.

Scellement des supports. — On commence par tracer à la craie la ligne que doivent occuper les supports, conformément au croquis visé par l'ingénieur des égouts, qui désigne l'emplacement. Lorsque la ligne est tracée sur une centaine de mètres, les ouvriers percent des trous aux points marqués par le *traceur*, c'est-à-dire à tous les mètres. Derrière l'équipe des *perceurs* vient celle des *scelleurs*, moins nombreuse (2 scelleurs pour 6 à 7 perceurs). Les scelleurs ont les mains couvertes d'un gant en caoutchouc pour manier le ciment. Ils font passer, dans le crochet posé, un gabarit en bois, de façon à obtenir une saillie uniforme.

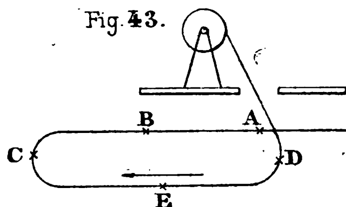
D'après les relevés, une équipe de 12 hommes, dont 1 garde-plaque et le chef d'équipe, doit sceller en pierre dure 200 équerres par jour, soit 17 par homme.

Tirage des câbles. — Lorsque les supports sont scellés, on procède à la pose des câbles. Dans ce but, on installe une bobine sur un châssis, au bord de la plaque d'égout qui occupe le milieu de la longueur à dérouler. Cette longueur est ordinairement de 400 mètres. Un ouvrier placé près de la bobine la fait tourner avec la main et fournit le câble. Un second ouvrier, placé au bas du regard, reçoit le câble et le dirige vers la droite, je suppose. Un troisième prend l'extrémité du câble et la porte à dos. Quand il a parcouru 10 à 12 mètres, un autre ouvrier charge à son tour le câble sur l'épaule et suit le premier. Et successivement, à toutes les longueurs de 12 mètres qui passent, de nouveaux porteurs s'engagent.

Lorsque le premier porteur est arrivé à 200 mètres, il s'arrête et tous les autres avec lui. Chacun alors place sa section sur les supports, en régularisant soigneusement.

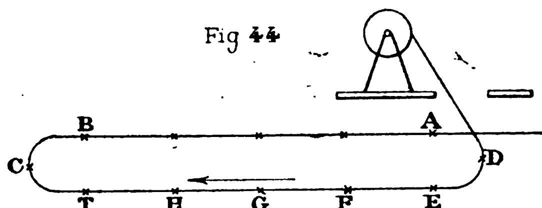
La première section posée, l'équipe revient à la plaque de départ. Le châssis a été déplacé et la bobine orientée en sens opposé. Le déroulage recommence vers la gauche, mais en double cette fois. Le dirigeur placé au bas du regard, en recevant le câble, l'arrondit sur le plus grand rayon possible et le fournit à un ouvrier, qui marche à reculons en maintenant la boucle aussi large qu'il le peut.

Ce dernier est suivi d'un aide qui accroche la section AB au fur et à mesure du déroulage, mais provisoirement et sans s'arrêter à tous les supports. Lorsque la section DC a atteint 6 mètres, un ouvrier se place en E pour recevoir le câble de D et le fournit à C, qui continue à reculer (*fig.* 43).



Chaque fois que C recule de 6 mètres, un ouvrier F prend à son tour le câble des mains de D et suit E, des ouvriers F, G, H, I, J, échelonnés sur le parcours, reçoivent le câble et le fournissent au voisin de gauche. La section DC passe ainsi de main en main sur une longueur de 100 mètres, c'est-à-dire jusqu'au moment où, la bobine étant épuisée, le bout du câble arrive en D. L'ouvrier D, portant l'extrémité, marche alors vers E, qui marche vers F, lequel s'avance vers G, etc. Les ouvriers se rapprochent ainsi les uns des autres, au fur et à mesure que diminue la section CD. Lorsque

le déroulage est terminé, on complète et on régularise l'accrochage (*fig.* 44).



Si les supports étaient placés trop haut pour que l'accrochage provisoire puisse être exécuté couramment, on serait obligé de déposer la section AB sur la banquette ou sur le radier de l'égout. C'est alors qu'il faudrait veiller à ce que les ouvriers n'écrasent pas le câble sous leurs bottes d'égoutiers.

Une équipe de 20 hommes est suffisante, mais nécessaire pour poser un câble à 7 conducteurs dans les conditions ordinaires. Elle peut dérouler de 1.600 à 2.000 mètres par jour.

Précautions à prendre pendant le tirage. — 1° Éviter de faire des nœuds sur le câble ou de le couder à angle trop vif;

2° Éviter de laisser entre deux porteurs le câble frotter contre la pierre du radier: d'où nécessité de ne pas trop éloigner les porteurs ;

3° Dans les passages difficiles, aux croisements des conduites d'eau ou d'air, mettre deux ouvriers à demeure fixe, aux côtés de la conduite;

4° Éviter les chocs et surtout les chutes de bobines dans le chargement et le déchargement; ne pas laisser les bobines exposées au soleil; si elles ne sont pas garanties par des couvercles en fer, les mettre à l'abri de la malveillance ;

5° Avoir soin, dans le déroulage, de faire déborder les extrémités des câbles de 1 mètre l'une sur l'autre pour permettre au soudeur de rafraîchir les bouts ;

6° Repérer exactement les points de soudures et désigner ces points sur une note qui sera remise à l'ingénieur ou à l'inspecteur chargé de la direction des travaux; signaler les sections qu'un accident a pu rendre défectueuses ou même douteuses;

Nota. — Pour les câbles en gutta-percha, Fortin ou Fowler-Waring, la méthode de tirage est celle que nous venons de décrire. Toutefois, les câbles de ces deux derniers systèmes étant plus lourds, l'équipe de déroulage doit être plus nombreuse, 26 hommes au moins.

2° Lignes en tranchée.

Précautions préliminaires. — Le chef de chantier ne doit jamais ouvrir une tranchée sans s'assurer que les sous-agents du service de la voirie et de la police locale ont été prévenus.

Il range son matériel sur les bords de la route, de façon à ne pas entraver la circulation.

Les lignes en tranchée sont ou avec conduites en fonte ou en câbles armés.

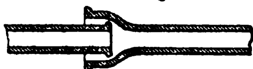
1° *Lignes avec conduites en fonte.*

Fouille. — Le chef de chantier commence par tracer sur le terrain la direction et les dimensions en largeur de la tranchée. A cet effet, il se sert d'un cordeau que deux hommes tiennent tendu et le long duquel un troisième ouvrier donne quelques légers coups de pioche. Il répartit ensuite les terrassiers en

les échelonnant de 10 mètres en 10 mètres. 10 mètres représentent à peu près le travail qu'un ouvrier peut faire en une journée en terrain ordinaire. La tranchée doit avoir une profondeur de 1 mètre à $1^m,20$ et une largeur de $0^m,60$; chaque terrassier est muni d'une baquette en bois, dont la longueur est égale à la profondeur que doit avoir la fouille et qui porte une entaille indiquant la largeur. Le fond doit être nivelé avec soin.

La fouille achevée, on y descend les tuyaux dont on dispose les bouts suivant le sens dans lequel devra se faire le tirage (*fig.* 45). Le câble doit aller du bout mâle ou sans tubulure au bout femelle, de façon à glisser contre la courbe intérieure de la tubulure. Il est facile de comprendre que, dans le sens opposé, il rencontrerait le bord en saillie du bout mâle et pourrait s'y déchirer. On dit, dans ce dernier cas, que le tirage a lieu à rebours.

Fig. 45

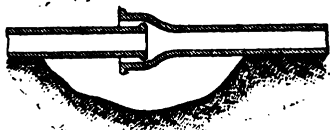


Dans cette première opération, les tuyaux n'ont été que rapprochés provisoirement. Il s'agit maintenant de procéder à l'assemblage définitif et à la confection des joints.

Ce travail exige un ouvrier mateur, deux aligneurs, un confectionneur de niches et un chauffeur.

On commence par creuser une niche en face du premier joint; cette niche doit avoir $0^m,50$ de longueur et une profondeur suffisante pour que la main du mateur puisse tourner autour du joint (*fig.* 46). Lorsque deux niches ont été creusées, les

Fig. 46



aligneurs assemblent les deux premiers tuyaux après les avoir éprouvés au mandrin et en ayant soin de ne pas engager à fond le bout mâle, qui doit rester à 1 centimètre environ du bout femelle, à cause de la dilatation possible des fontes. Ils alignent ensuite les deux tuyaux très exactement, dans tous les sens, et ils les calent solidement soit avec de la terre meuble, soit avec de petites pierres, puis ils passent une aiguille en fil de fer de 3 millimètres.

Le mateur prend alors le joint et y introduit de la corde goudronnée; celle-ci, coupée en bouts faisant deux fois le tour du tuyau, est poussée à fond, à l'aide du matoir, et doit remplir la cavité jusqu'à 0m,04 du bord du bout femelle (*fig.* 47). Il prend ensuite un pain de terre glaise (*fig.* 48) préparé par le chauffeur et l'applique autour du joint, en forme de bourrelet. Il le presse avec les doigts et ménage en haut un petit entonnoir, dans lequel il verse avec une cuiller, le plomb en fusion qui lui est présenté (*fig.* 49). Le plomb doit être versé jusqu'à refus, de façon à remplir exactement le vide laissé par la corde. Au bout d'une minute, le mateur peut enlever le bourrelet de terre glaise, faire sauter d'un coup de ciseau la partie saillante de plomb qui correspond à l'entonnoir et lorsqu'il juge le plomb suffisamment refroidi, il le refoule à l'aide de son matoir et de sa massette. Le joint est fait.

Fig. 47

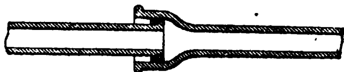


Fig. 48.

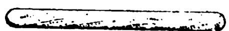
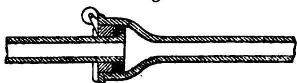


Fig. 49.



Manchons. — Des manchons sont disposés de dis-

tance en distance sur la ligne. Le manchon est un tuyau droit, sans tubulure, de 1 mètre de longueur et d'un diamètre plus grand que les tuyaux sur lesquels il doit pouvoir glisser librement. Les deux bouts de tuyaux qu'il doit emboîter sont à la distance de $0^m,75$ à $0^m,80$ et n'ont pas de tubulure.

Bout droit. — On est donc obligé de placer à tous les manchons un tuyau sans tubulure, appelé communément *bout droit*. C'est un détail qu'il ne faut pas oublier dans la distribution des fontes.

Distance des manchons. — La distance des manchons est ordinairement de 50 mètres. Cette distance est réduite à 25 mètres quand la conduite doit recevoir du Fortin. Nous en donnerons la raison plus tard.

Joints des manchons. — Les joints des manchons ne sont effectués qu'après l'introduction des câbles. Si ces câbles sont en gutta-percha, les joints ne sont pas coulés à chaud (on sait que la gutta craint la chaleur). Ils sont confectionnés avec des bagues spéciales préparées d'avance et refroidies.

Utilité des manchons. — L'utilité du manchon consiste en ce qu'il permet de surveiller les câbles à leur passage pendant le tirage, de leur fournir le talc qu'ils ont perdu et, au besoin, d'aider avec la main à la traction. Plus tard, il sera commode pour circonscrire les dérangements et remplacer les sections de câbles défectueuses. On a bien compris qu'il suffit de le démater et de le faire glisser sur l'un des tuyaux pour découvrir la ligne.

Coudes et chambres. — Une ligne en tranchée comporte aussi des tuyaux courbes, des coudes en fonte plus ou moins prononcés et des chambres égale-

ment en fonte. Ni les tuyaux courbes ni les coudes n'offrent de difficultés particulières d'installation ; le joint en est exécuté comme pour les tuyaux droits. Il faut seulement se rappeler qu'à côté de chaque coude, il est indispensable de placer un manchon, à cause du tirage dont nous allons parler.

Chambres. — Quant aux chambres, elles sont très commodes aux points de soudure, très utiles dans les angles un peu vifs, indispensables dans les bifurcations. Leurs percements doivent être faits sur place, et après avoir présenté la chambre aux lignes qui y aboutissent. Ces percements peuvent se faire au burin.

Fermeture des chambres. — La fermeture des chambres doit être étanche. On obtient l'étanchéité en appliquant une couronne de plomb strié contre un emboîtement circulaire faisant saillie sur la face interne du couvercle. Lorsque celui-ci est bien ajusté sur la chambre, on ajoute un mastic appelé *Serbat* tout autour du joint, puis on serre fortement les boulons.

Pièces de raccordement. — Les pièces de raccordement adaptées à la chambre sont traitées de la même manière. On assure l'étanchéité en installant une couronne de plomb entre le cordon de la pièce et la paroi extérieure de la chambre ; on complète par du serbat.

Renseignements particuliers. — Les quantités de corde goudronnée et de plomb nécessaires pour confectionner un joint varient avec le diamètre des conduites. Voici quelques chiffres relevés sur un certain nombre de travaux :

Pour un tuyau de 0,150. . . .	Corde.	0^{kg},750
	Plomb	3 ,250
— de 0,100. . . .	Corde.	0 ,450
	Plomb.	2 ,300
— de 0,081. . . .	Corde.	0 ,250
	Plomb.	1 ,900
— de 0,070. . . .	Corde.	0 ,200
	Plomb	1 ,700

2 mateurs, 2 aligneurs, 2 confectionneurs de niches, 1 chauffeur; en tout 7 ouvriers bien exercés peuvent faire :

Tuyaux de 0,150 ou de 0,100, 6 joints à l'heure;
— 0,081 — 0.070, 7 —

Épreuve des conduites. — Lorsqu'on a terminé la pose d'une section de ligne comprise entre deux manchons, on la soumet, avant de la recouvrir de terre, à l'épreuve de la pompe à air. L'une des extrémités de la conduite est reliée à la pompe, l'autre est obturée au moyen d'un tampon. La conduite doit supporter une pression de 1 à 2 atmosphères pendant dix minutes, sans qu'il se produise aucune fuite, ce qu'on reconnaît à la fixité de l'aiguille du manomètre. Si l'aiguille dévie de plus d'un dixième d'atmosphère, deux hommes suivent rapidement les conduites en présentant le dos de la main mouillée à chaque joint. On peut aussi humecter les joints d'eau de savon et vérifier ceux qui donnent des bulles.

Les joints défectueux sont matés à nouveau, et si, après une seconde épreuve, ils laissent encore échapper l'air, on enlève le plomb et on coule de nouveaux joints.

Remblayage. — La section reconnue bonne est aussitôt recouverte d'un remblai. On a soin que la première terre jetée soit fine et purgée de pierres ; on la tasse au pied jusqu'au-dessus de la conduite ;

on remblaie ensuite par couches de 10 centimètres soigneusement arrosées et pilonnées.

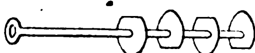
Après l'achèvement du remblai, la tranchée devra être surmontée d'une couche en terre formant champignon de 15 à 20 centimètres de hauteur. Les matériaux excédants seront disposés en tas régulier sur l'accotement pour être utilisés au moment de la réfection définitive. Si ces couches étaient trop encombrantes, on les ferait transporter aux décharges publiques.

Pour les traversées de chaussées pavées ou empierrées et de trottoirs, on fera un reblocage provisoire avec les matériaux enlevés lors de l'ouverture de la fouille.

La réfection définitive est généralement faite par le service des ponts et chaussées au compte de l'administration. Dans le cas contraire, le chef d'équipe s'informe s'il existe dans la localité un entrepreneur avec lequel l'administration puisse traiter.

Nettoyage des conduites. — Dès qu'on a posé une longueur suffisante de tuyaux, 400 mètres pour les câbles en gutta, 200 mètres pour les Fortin, on peut procéder au tirage. Mais il importe auparavant de s'assurer qu'il ne reste pas de terre ou de pierres dans les conduites. On se sert, à cet effet, d'une brosse métallique (*fig.* 50) ou, à défaut, d'un tampon de chiffons attaché au fil ou à la cordelette qu'on a passé préalablement dans les tuyaux et on la fait circuler d'un bout à l'autre de la section.

Fig. 50



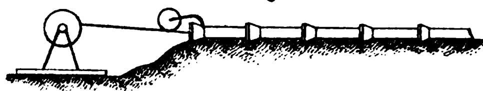
Il faut éviter de faire passer la brosse à rebours, parce que la terre ou les pierres viendraient butter

contre les bouts mâles et s'y arrêteraient. On a soin de ramener en même temps une nouvelle aiguille destinée à venir chercher la corde du treuil.

Tirage.

Câbles en gutta. — On commence par disposer le treuil exactement dans l'axe de la ligne et autant que possible sur le même plan horizontal (*fig.* 51). Si la

Fig. 51



forme du terrain s'oppose à cette dernière disposition, on éloigne le treuil de telle sorte que la corde frotte le moins possible contre la poulie de sortie. Éviter (*fig.* 52)

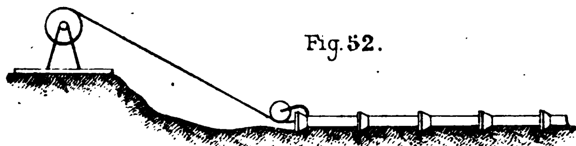


Fig. 52.

à tout prix le tirage à angle droit. Cela fait, on attache la corde du treuil à l'aiguille qui l'entraîne à l'autre extrémité de la ligne. Un ouvrier doit constamment rester au treuil pour régulariser le mouvement.

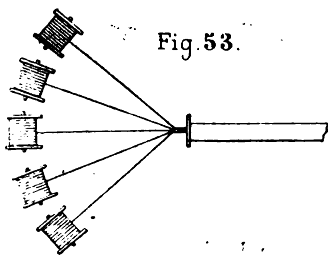


Fig. 53.

Les bobines ont été placées sur des châssis et rangées en demi-cercle à l'extrémité opposée de celle où est le treuil (*fig.* 53).

On groupe les bouts de câbles autour de la corde

du treuil et on les attache sur une longueur de 0m,50 à 0m,60 environ au moyen de fil à ligature que l'on enroule en sens inverse et qui les comprime fortement. Mais comme les extrémités des câbles forment une saillie (*fig.* 54), on applique contre la saillie soit de la corde, soit des chiffons tassés en forme de poire; on recouvre le tout d'un ruban de toile large de deux doigts et on régularise l'attache; on consolide ensuite avec du fil à ligature (*fig.* 55). Cette opération, qui paraît compliquée à première vue, peut être terminée en vingt minutes. C'est la méthode employée dans le service télégraphique de Paris et, à aucun moment, elle n'a occasionné d'accident.

Fig. 54



Fig. 55.



L'attache terminée, on fait signe au treuil de marcher (*fig.* 56). Un ouvrier A, B ou C, préposé à chaque

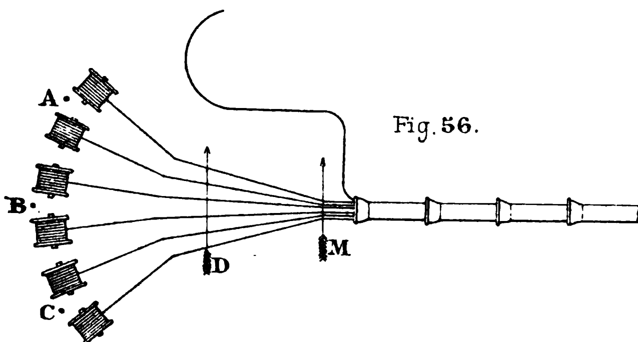


Fig. 56.

bobine ou au plus à deux bobines rapprochées, fournit le câble en appuyant de la main sur le bord de la joue

des bobines. Un ouvrier D rassemble et régularise les câbles qu'il présente à l'ouvrier M accroupi à l'ouverture de la conduite. Celui-ci achève de régulariser le faisceau et l'engage dans le tuyau. A côté de lui, un aide jette du talc sur les câbles : un second aide fournit le fil de fer destiné à servir d'aiguille.

Il faut avoir soin de placer à chaque manchon un homme chargé de vérifier et de diriger les câbles à leur passage et de répandre du talc.

Il est également indispensable que l'équipe du déroulage puisse communiquer instantanément avec l'équipe du treuil, afin de faire arrêter s'il en est besoin. Deux ouvriers, placés en vedette à chaque extrémité, échangent des signaux convenus.

Le treuil doit marcher doucement, sans secousse. Un homme veille à ce que la corde s'enroule régulièrement sur le tambour.

Telle est la méthode employée dans le service télégraphique de Paris. Plusieurs appareils ont été imaginés pour régulariser automatiquement le tirage : le soleil qui remplacerait l'ouvrier D, la poulie d'introduction avec entonnoir pour talc à la place de l'ouvrier M, la poulie guide, et même le tracteur pour l'attache des câbles.

Le tirage des câbles, tel que je viens de le décrire, est si simple et si facile que nous avons renoncé, dans le service télégraphique de Paris, à nous servir de ces appareils très ingénieux, à coup sûr, mais très compliqués.

Le tirage en conduite nécessite un personnel assez nombreux, surtout lorsque les câbles sont en nombre. On met généralement 4 hommes au treuil, 1 homme pour enrouler la corde, 2 guetteurs pour les signaux,

2 ou 3 hommes au dévidage des bobines, 1 premier assembleur, l'introducteur (choisi avec soin), 1 talqueur, 1 fournisseur d'aiguille, 7 hommes pour les manchons, en tout 21 hommes pour tirer 6 câbles sur 400 mètres, soient 2.400 mètres. On peut facilement faire deux tirages par jour et même trois, en été.

J'ai oublié de dire que les premiers tuyaux de chaque bout doivent être complètement recouverts de terre, afin que la traction n'ébranle pas les joints en déplaçant la conduite.

Il faut éviter de remplir les tuyaux. Les difficultés et, par suite, les dangers du tirage, s'accroissent avec le nombre de câbles. Ceux-ci ne se rangent pas toujours régulièrement pendant la traction ; quelques-uns font des coudes ou chevauchent sur les autres, en sorte que le diamètre théorique du faisceau se trouve dépassé ; il se produit un frottement qui use l'enveloppe et met le cuivre à nu.

Il est préférable de prendre des tuyaux d'un plus fort diamètre. La main-d'œuvre étant la même pour toutes les conduites, la dépense supplémentaire proviendra uniquement de la plus-value de la fonte. Or, cette plus-value est relativement insignifiante; elle se trouve d'ailleurs largement compensée par l'avantage de pouvoir glisser plus tard de nouveaux câbles, sans autres frais que ceux qui résulteront de quelques fouilles aux manchons.

Voici un tableau du nombre de câbles que, dans la pratique, on ne devra pas dépasser :

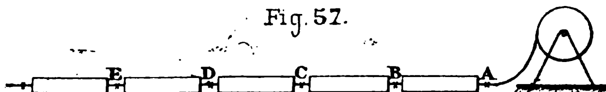
Tuyaux	de 0,050. . . .	3	câbles C sous guipage.			
—	de 0,060. . . .	3	—	ou 3	câbles B	sous guipage.
—	de 0,070. . . .	5	—	— 4	—	—
—	de 0 081. . . .	6	—	— 5	—	—
—	de 0,100. . . .	10	—	— 8	—	—
—	de 0,150. . . .	18	—	— 16	—	—

Les câbles sous-plomb doivent être tirés un par un :

Tirage du câble Fortin. — Le câble à perles, qui est toujours sous plomb, n'emprunte pas nécessairement des conduites lorsqu'il est en tranchée. Son enveloppe suffit, à la rigueur, pour le protéger. Mais dans un sol bouleversé, comme celui de Paris, la fonte donne une protection plus efficace. D'un autre côté, les conduites, dont les frais de premier établissement sont onéreux, présentent, en échange, comme nous l'avons dit, le grand avantage de dispenser de l'ouverture d'une nouvelle tranchée. Lorsqu'on a d'autres câbles à placer sur la même section, on les introduit dans les conduites existantes.

Le tirage du câble Fortin dans des tuyaux nécessite quelques précautions particulières. Dans ce modèle de câble, le groupe des conducteurs perlés joue librement dans la gaine, en sorte que lorsqu'il est soumis à la traction, celle-ci s'exerce uniquement sur le plomb. Or, on sait que le plomb est une matière peu résistante, tendant à s'allonger et même à se rompre. Pour obvier à cet inconvénient, le service des téléphones a imaginé d'attacher le câble à la corde du treuil et de faire supporter la traction à la corde et non au câble.

Dans ce but, on a placé les manchons à 25 mètres de distance. On déroule dans la conduite la corde du treuil, qui est de 500 mètres, sur une longueur égale



à celle de la section à tirer (*fig.* 57). Le câble Fortin étant fabriqué par bouts de 200 mètres, cette section

est de 200 mètres. Lorsque la corde a dépassé le bout opposé de la conduite de 3 à 4 mètres, on arrête le treuil et on marque la corde d'un nœud de tresse rouge à chaque manchon, ainsi qu'aux deux extrémités. La marque faite, on continue à dérouler la corde sur une nouvelle longueur de 200 mètres, qui est la longueur du câble à introduire. La marque A a été amenée en A′ (*fig.* 58), la marque B en B′,

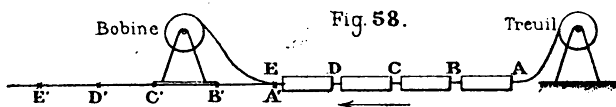


Fig. 58.

C en C′, et ainsi de suite. On attache le bout du câble en A′ et on tire au treuil jusqu'à ce que la marque B′ arrive en E. On arrête le treuil, on attache de nouveau le câble en B′ et on se remet en marche. Lorsque C′ arrive en E, on procède comme on a procédé pour B′ et de même pour D′. Le tirage achevé, les attaches se retrouvent comme dans la *fig.* 1, en face de chaque manchon. On coupe les attaches et la corde, devenue libre, glisse à côté du câble et vient s'enrouler sur le tambour du treuil.

De cette façon, on comprend que, sauf pour les premiers 25 mètres, la traction n'a pu s'exercer que sur la corde et que, par suite, la gaine n'a subi aucune déformation.

Les câbles sont tirés successivement un à un, jamais en faisceau.

Les attaches de la corde ou du câble se font avec du ruban tanné, serré et enroulé sur une longueur de $0^{m},50$ pour la première et de $0^{m},30$ pour les suivantes (*fig.* 59). La couche de ruban est consolidée avec du

fil à ligature et, par-dessus le fil, on place une nouvelle couche de ruban enroulé dans le sens du tirage.

Fig 59.



Tirage du câble armé. — La pose en tranchée est d'une grande simplicité. Si la voiture qui porte le câble peut suivre le long de la tranchée et qu'il n'y ait pas interposition d'arbres, de poteaux ou d'édicules, on laisse la bobine sur le voiture, on la dispose sur châssis, et c'est la voiture en avançant qui opère le déroulage. Dans le cas contraire, on procède comme pour le tirage en égout, mais sur toute la longueur. Le câble est déposé sur le bord de la fouille; les ouvriers sautent ensuite dans la tranchée et amènent le câble sur le fond bien nivelé, en l'alignant avec soin.

On n'a plus qu'à remblayer avec les précautions d'usage.

A noter qu'une bobine déroulée de câble armé est toujours terminée dans deux chambres en fonte et qu'il n'y a pas de soudures intermédiaires.

Précautions à prendre pendant la construction des lignes en tranchée. — 1° Lorsque la tranchée est creusée sous le trottoir, dans la traversée des villes ou villages, le chef de chantier ménage un passage devant chaque porte, soit en laissant une partie non creusée, soit en jetant des plats-bords pour établir des passerelles.

2° Dans la traversée d'une route, il n'attaque jamais qu'une moitié de route à la fois; la seconde moitié est entreprise lorsque la première a été remblayée.

3° Les fouilles doivent être entourées d'une barrière en fil de fer de 3 millimètres fixé sur des piquets en fer ou en bois.

4° Pendant la nuit, des lanternes seront disposées de distance en distance et à tous les endroits dangereux.

Un ou deux gardiens pris parmi les ouvriers de l'équipe, seront désignés à tour de rôle pour surveiller la fouille et le matériel pendant la nuit.

5° On aura soin, à la fin de la journée, de glisser les manchons pour garantir les câbles et de fermer provisoirement les chambres en fonte.

6° Le chef d'équipe devra repérer le tracé de la ligne, ainsi que l'emplacement des chambres et des manchons. Il se servira, à cet effet, de signes bien apparents et aussi fixes que possible, tels que les bornes kilométriques, un angle de maison, un arbre, l'axe des routes, etc. Il le notera sur son carnet et devra être en mesure de fournir sur place tous les renseignements nécessaires au dessinateur chargé des plans.

7° A partir d'une profondeur de $0^{m},60$, il doit recommander aux terrassiers de piocher avec précaution, car c'est généralement à cette profondeur qu'on rencontre les conduites de gaz. Le plan que lui a remis l'inspecteur doit être consulté fréquemment. Si une conduite vient à être brisée, il doit avertir immédiatement le service intéressé et il prend des mesures pour réparer provisoirement le dégât.

S'il rencontre, dans la fouille, une canalisation de force ou de lumière électriques, il en prévient immédiatement son inspecteur. En aucun cas, la ligne télégraphique ne doit être placée à moins de $0^{m},50$ de distance de cette canalisation.

8° Pour les passages difficiles, il recevra des ordres spéciaux de son inspecteur. La traversée des ponts,

des ruisseaux, des canaux, des rues pourvues d'égouts, des voies ferrées, des enceintes fortifiées, nécessite des études particulières et appelle des procédés d'exécution très variables. Nous n'en parlerons pas ici, mais on peut visiter les points du réseau de Paris, où il existe des installations de ce genre.

D'une façon générale, il vaut mieux traverser les cours d'eau sur les ponts, même en faisant un détour. Les lignes sous-fluviales sont exposées à plus de dangers et sont difficilement réparables. Il vaut mieux se mettre franchement en tranchée dans le pont, si mince que soit la couche de terre au-dessus de l'extrados, que de longer avec des boîtes ou des tuyaux les parements extérieurs.

Si l'on est obligé d'adopter ce dernier moyen, il faut choisir le côté du pont le moins exposé au soleil. Si la tranchée sur le pont est autorisée, il ne faut, en aucun cas, attaquer l'extrados des voûtes.

Dans la traversée des voies ferrées, la tranchée sous rails est toujours faite par les soins de la compagnie.

Guérites et poteaux de raccordement.

Sauf pour les réseaux exclusivement urbains, les lignes souterraines de toutes catégories se raccordent soit entre elles, soit avec les lignes aériennes. Dans ce dernier cas le raccordement s'effectue au moyen d'une guérite ou d'un poteau spécial.

Guérites. — Il n'y a pas de surveillant qui ne sache ce que c'est qu'une guérite télégraphique et qui ne connaisse la manière dont on l'installe sur des dés en pierres reliés par une maçonnerie. Je ne m'occuperai ici que de l'aménagement intérieur au point de vue du

raccordement des fils aériens ou avec d'autres fils souterrains.

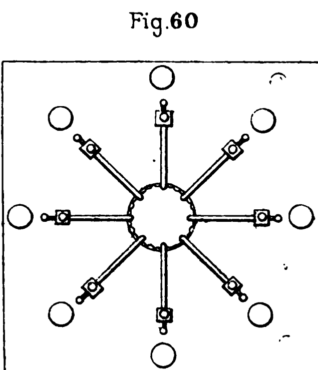
Les parties qui entrent dans la constitution d'une guérite aérosouterraine sont :

1° La rosace ;

2° Les plaques à paratonnerres ;

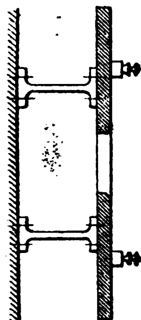
3° Les traverses extérieures recevant les fils aériens.

Fig. 60



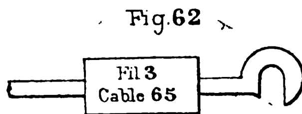
La rosace. — La rosace (*fig.* 60) consiste en un plateau en chêne, évidé en son centre et portant, rangées sur une circonférence de $0^{m},60$ de rayon en moyenne, une série de bornes sur socle en ébonite. Ce plateau est fixé contre la paroi du fond au moyen de deux ou quatre pattes en fer, d'une longueur de $0^{m},50$, vissées sur le bois (*fig.* 61).

Fig. 61



La ligne souterraine, émergeant du plancher, arrive au centre. Les conducteurs, décâblés sur une longueur de $1^{m},20$ environ, flottent librement et peuvent être portés sur un point quelconque de la périphérie ; ils forment les rayons mobiles de la rosace. Une cuiller, soudée à l'extrémité de chaque conducteur, porte une plaque en cuivre sur laquelle est gravé l'état civil du conducteur, par exemple : *fil* 3 *du câble* 65 (*fig.* 62).

Fig. 62



Les bornes reçoivent les fils aériens, non pas directement, mais par l'intermédiaire d'un fil recouvert de gutta-percha, qui va se souder au fil aérien. Ce dernier a été amené du poteau terminus à un isolateur vissé sur une traverse extérieure clouée contre la paroi de la guérite (*fig.* 63). Le fil en gutta traverse la paroi par un tube coudé, descend jusqu'au plateau en chêne, passe dans un trou percé en face de la borne et se soude à une cuiller coudée en laiton (*fig.* 64), qui se fixe sur la borne où elle est serrée par un écrou (*fig.* 65). En face de la borne est vissée une étiquette en os indiquant le fil aérien auquel elle correspond, par exemple, *Niort*, 346.

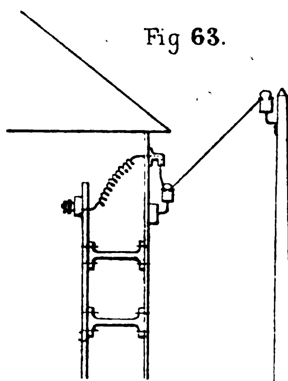
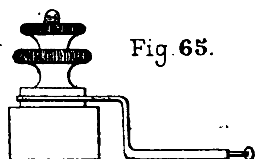

Fig 63.


Fig. 64


Fig. 65.

D'après cela, il est facile de comprendre le jeu de la rosace (*fig.* 66). Veut-on relier *Niort*-346 avec un fil souterrain quelconque, *le fil* 3 *du câble* 65? on cherche ce dernier fil au centre ; on l'amène à la borne et on place les deux cuillers l'une sur l'autre, puis on serre l'écrou. Pour éviter les effets

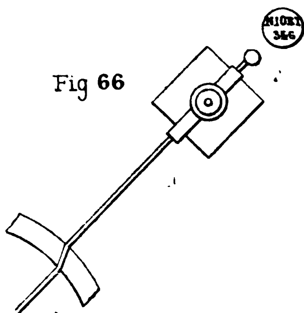


Fig 66

de la trépidation occasionnée par le passage des trains, la borne porte en outre un contre-écrou.

Le bord intérieur et circulaire de la rosace porte un bourrelet en buis, dans lequel on a pratiqué des rainures obliques qui permettent d'arrêter le conducteur, de le tendre et de donner un aspect régulier au tableau.

Paratonnerres. — Il est de toute nécessité de placer des paratonnerres aux guérites pour protéger les fils souterrains. On dispose de chaque côté de la rosace R (*fig.* 67) des plaques de tôles, de 0m,20 de largeur sur 1 mètres de longueur L, mises en communication avec la terre. Les paratonnerres P sont vissés face à face sur les joues opposées (*fig.* 68). La plaque extérieure porte deux bornes en cuivre auxquelles on attache les deux extrémités du fil.

Fig.67

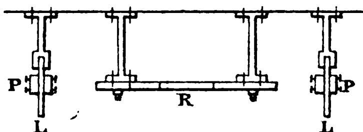
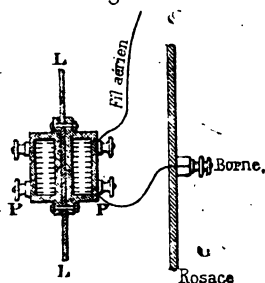


Fig.68.



Une plaque en émail blanc fixée sur la paroi, derrière une des glaces, permet à l'œil de distinguer si les pointes sont émoussées. Le fil de terre est généralement soudé aux conduites en fonte de la ligne souterraine qui aboutit à la guérite.

Traverses extérieures. — Planches en chêne clouées contre la paroi extérieure de la guérite et portant des isolateurs petit modèle, qui reçoivent les fils aériens du poteau (*fig.* 69). Ces fils sont prolongés par des

conducteurs sous gutta-percha, qui passent à travers une pipe inclinée et viennent se relier aux bornes de la rosace.

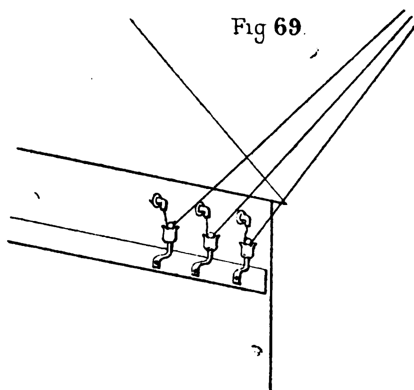


Fig 69.

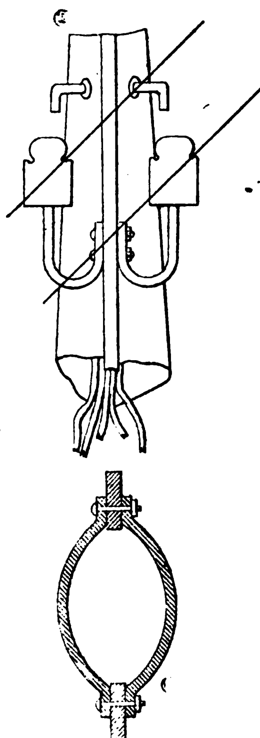
Poteaux de raccordement.

Lorsque les fils sont peu nombreux, ou lorsqu'on veut éviter la dépense d'une guérite, on fait le raccordement des lignes souterraines et aériennes sur un poteau.

Il en existe de plusieurs espèces. Sur le réseau télégraphique de Paris, on emploie des poteaux en fer creux (*fig.* 70), percés à la partie inférieure, les conducteurs sont décâblés ; ils entrent séparément dans des pipes recourbées et viennent se souder sur les fils aériens arrêtés aux isolateurs placés directement au-dessous des pipes.

Ils sont généralement munis d'un éperon ou ailette qui permet d'y placer les paratonnerres ; quelquefois ceux-ci sont logés dans une chambre ménagée au pied du poteau et fermant à clef.

Comme ils forment têtes de ligne et sont appelés à supporter une forte traction, il importe qu'ils soient plantés dans la maçonnerie. On fera bien, s'ils sont à arêtes tranchantes, de les faire butter contre une forte plaque en fer à la partie supérieure en avant


Fig. 70

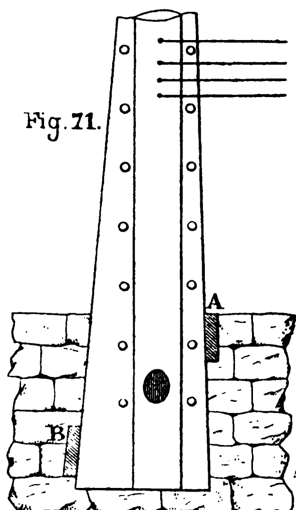


Fig. 71.

A, et en arrière à la partie inférieure B (*fig.* 71).

Entretien.

L'entretien comprend la recherche des dérangements et les réparations :

Dérangements sur les lignes en galerie.

Les principales causes de dérangements sont :

Les brûlures ;

Les chocs (coups de marteaux, coups de poinçons, ou écrasements par les vannes, etc.) ;

Projection de neige ;

Le maniement trop rude ou trop répété des câbles (au passage des plaques, par exemple) ;

Les soudures mal faites ;

Les ruptures de crochets ;

Les gerçures du plomb ;

Les vapeurs acidulées des égouts ;

Les morsures de rats ;

Les coups de foudre.

De toutes ces causes, la plus fréquente est la brûlure, lorsqu'il s'agit de câbles en gutta. Tantôt, c'est un déversement d'eaux chaudes; tantôt une lampe aura été suspendue aux câbles ; tantôt le jet enflammé d'une lampe à chalumeau destiné à souder une conduite d'eau ou d'air aura atteint le faisceau voisin. La gutta ramollie tombe, par suite de son propre poids, dans le bas de la gaine de plomb et laisse les cuivres à nu ou tout au moins décentrés, d'où une perte ou un mélange.

Brûlure invisible. — Le grand inconvénient de ces sortes de dérangements, c'est de ne présenter aucune trace apparente ; la teinte de fumée se confond avec la teinte foncée du plomb ; d'ailleurs, dans les déversements d'eaux chaudes, c'est la vapeur qui brûle, et la vapeur ne laisse pas de traces.

Les câbles Fortin, Fowler-Waring et sous papier échappent à cet inconvénient.

Chocs. — Une autre cause de dérangements réside dans les chocs auxquels sont exposés les câbles de toutes catégories : coups de marteaux, coups de gaffes d'égoutiers, coups de poinçons d'ouvriers maladroits

ou malveillants, écrasements produits par les vannes qu'on relève, par les tuyaux d'eau qu'on descend, etc.

Maniements répétés. — Quelquefois, aux passages des regards, les ouvriers d'égouts se suspendent aux câbles et finissent par couder les fils et briser l'enveloppe.

Rats. — D'autres fois, lorsque les câbles suivent de trop près une conduite d'eau, les rats qui ont accès sur les conduites rongent le plomb et la gutta.

Ces dérangements purement accidentels laissent du moins des traces visibles qu'un simple parcours suffit à faire reconnaître.

Vapeurs acidulées. — Il en est d'autres dus à des causes permanentes, telles que les vapeurs acidulées qu'on rencontre toute l'année dans certains égouts. Ces vapeurs attaquent le plomb et le criblent de petits points blancs qui rendent l'enveloppe poreuse. Or, on sait que pour les câbles Fortin, Fowler-Waring et sous papier, l'étanchéité de l'enveloppe est une condition de bon fonctionnement.

Soudures mal faites. — Il faut aussi se défier des soudures mal faites. Lorsque la gutta est mal pétrie ou mal mariée avec celle du conducteur, il s'y produit des fissures par lesquelles la vapeur d'eau pénètre et attaque le cuivre. On voit alors le vert-de-gris suinter par la soudure, la gutta s'altérer et toute l'enveloppe devenir conductrice.

Je ne parle que pour mémoire des détériorations occasionnées par la projection des neiges dans les égouts ou par le voisinage des câbles de lumière, qui traversent quelquefois la clef de voûte à angle droit. Ces dérangements, qui sont particuliers à Paris, se présentent assez rarement.

Recherche des dérangements sur câbles en égoût.

Je ne m'occuperai ici que de la recherche sur les câbles en gutta-percha ou Fowler-Waring.

Nature du câble. — Lorsqu'un dérangement est signalé sur un ou plusieurs conducteurs d'un même câble, on doit d'abord se renseigner sur la nature du câble, s'il est en gutta ou non, s'il est à 3, à 5, à 7 ou 10 conducteurs, s'il est du modèle B ou C, et enfin sur le numéro qu'il porte en égout. Ces renseignements permettent de le distinguer des autres à première vue.

Parcours général. — On fait ensuite le parcours du tracé suivi par le câble, en le visitant à la lampe, mais sans trop insister. Aux passages des regards, aux bifurcations, à tous les endroits suspects, on vérifie plus attentivement. On vérifie également les points où l'eau du radier laisse échapper des vapeurs chaudes ou acidulées et on les note.

Coupures. — Lorsque la visite n'a donné aucun résultat, on a recours aux coupures par sections; mais, pour opérer sans danger, il devient nécessaire de rendre le câble libre en reportant les communications sur une autre ligne. C'est à l'inspecteur qu'incombe ce dernier soin.

En l'absence de tout indice, on coupe généralement à la soudure qui tient à peu près le milieu de la ligne. Mais, avant toute coupure, on a soin d'enlever le plomb sur $0^{m},40$ de longueur et de numéroter les fils découverts (*fig.* 72) aux deux extrémités du plomb, de telle sorte qu'après la coupure, on puisse rétablir exactement le câblage.

S'il s'agit d'une perte, le surveillant (que nous supposons opérer sans le secours d'un commis et qui est toujours muni d'une pile portative et d'un galvanomètre spécial) a fait préalablement isoler le câble aux deux extrémités. Il installe sa pile et son galvanomètre au point de coupure et vérifie chacune des sections. La déviation de l'aiguille lui fait aisément reconnaître la section ainsi que le ou les fils défectueux.

Fig. 72.



Perte. — Il les isole avec soin en les obturant avec de la gutta ou avec du ruban de caoutchouc pur. Il va ensuite couper à la soudure qui tient le milieu de la section défectueuse et il opère comme précédemment. Lorsqu'il a circonscrit le défaut entre deux soudures, sur 400 mètres, il procède avec un soin minutieux à la vérification de cette dernière section; dans ce but, il descend le câble dans sa main et l'examine dans tous les sens; il est accompagné d'un ou de deux aides. A moins que le câble n'ait été brûlé, il est rare qu'il ne mette pas le doigt sur le défaut.

Si toutefois le défaut lui échappe, il est obligé de faire une coupure intermédiaire. A moins d'ordres contraires, il s'en tient à cette dernière coupure et en réfère à l'inspecteur, qui juge s'il y a lieu de remplacer les 200 mètres défectueux ou de recourir à un nouveau sectionnement.

Mélange. — On opère de la même manière pour les mélanges. Il n'y a de différence que dans la manière de constater le défaut au moyen du galvanomètre. Pour reconnaître les deux fils mêlés, on fait toucher le fil du galvanomètre au fil n° 2 du câble et on met

tous les autres à la terre. Si la déviation est nulle, c'est que le fil n° 1 n'est pas mêlé. On fait toucher ensuite le n° 2 et on met tous les suivants à la terre. On arrive ainsi très vite à reconnaître les fils défectueux.

Isolement. — Dans le cas d'*isolement*, il est rare que le dérangement ne soit pas découvert pendant le parcours, car l'isolement provient d'une rupture et il n'y a guère qu'un choc violent ou une rupture visible qui puissent l'occasionner. Cependant, il arrive quelquefois que le cuivre a été rongé à l'intérieur par du vert-de-gris, à la suite d'une fissure dans le plomb et dans la matière isolante.

Pour rechercher les isolements, on met d'abord à l'une des extrémités du fil défectueux un courant permanent de 10 ou 15 éléments. Lorsque la visite n'a rien fait découvrir, on vient couper au milieu de la ligne et à l'aide d'une sonnerie, ou simplement à la langue, on tâte tous les fils successivement. Si le courant est perçu, c'est que le dérangement est sur l'autre section; on raccorde provisoirement les fils en les isolant avec du ruban de caoutchouc pur.

Recherche des dérangements sur les lignes en tranchée.

Sur les lignes en tranchée moins exposées aux accidents que les lignes en galerie, les dérangements sont beaucoup moins fréquents, mais, par contre, la recherche en est plus difficile et la réparation plus coûteuse.

Principales causes de dérangements :

Rupture des conduites, par suite de tassements de terrains ou par suite d'éboulements ;

Coupure ou bris des tuyaux, par suite de travaux de fouilles ;

Infiltration, dans les conduites, d'eaux pluviales chargées de sels terreux ou d'eaux chaudes acidulées provenant d'usines ;

Soudures mal faites ou détériorées ;

Frottement des câbles pendant le tirage ;

Usure aux angles de chute ;

Échauffements des câbles par le soleil aux traversées des ponts ;

Coups de foudre.

Recherches. — Le premier soin qui s'impose au surveillant est de faire le parcours à pied de la ligne, dont on doit lui donner le tracé exact. Il vérifie s'il n'y a pas de tassements, excavations ou éboulements, si des travaux de fouilles ou de terrassements ont lieu sur le passage ou à côté des conduites. Il s'informe auprès des riverains s'il n'y a pas eu des travaux récents et il en recherche les traces sur le terrain.

Lorsque rien de suspect n'a été remarqué, il devient nécessaire d'ouvrir une fouille à un manchon où à une chambre de soudures. On choisit généralement le milieu de la ligne. Le manchon ou la chambre ayant été ouverts, on reconnaît le câble défectueux, ce qui est facile, puisque tous les câbles sont marqués. On examine avec soin les soudures, et quand on s'est assuré qu'elles ne renferment pas le défaut, on fait les mêmes expériences que celles décrites pour les câbles en galerie.

Après un certain nombre de fouilles et de coupures, on est amené à déterminer le défaut entre deux sou-

dures, sur une section de 400 ou de 500 mètres. Le surveillant en réfère alors à son chef.

En général, la section défectueuse est limitée à 100 mètres, à cause des difficultés qu'on éprouve à retirer un câble des tuyaux. Dans les lignes déjà anciennes, les câbles adhèrent les uns aux autres et forment une seule masse. On essaie à la main de dégager le câble mauvais; s'il cède, on attache à l'autre extrémité une section de câble neuf de même longueur et on tire doucement de façon à ne pas blesser les câbles voisins. Si on prévoit au contraire que le dégagement sera impossible, il vaut mieux abandonner le câble et introduire une section neuve au moyen de l'aiguille restée dans la conduite ou d'une aiguille articulée qu'on introduit avec précaution. Les soudures terminées, on ferme la chambre, ou l'on ramène le manchon qui doit être maté à froid, s'il s'agit de câbles en gutta-percha.

Dans les ruptures de tuyaux, deux cas peuvent se présenter. Ou les câbles ont été rompus en même temps que la fonte, ou la fonte seule s'est brisée.

Câbles rompus. — Dans le premier cas, on commence par rétablir provisoirement les communications au moyen de fils volants, après avoir reconnu les câbles et les conducteurs. Cette reconnaissance ne peut être faite qu'à l'aide d'appareils Morse ou téléphoniques.

Interversions. — On comprend l'importance qu'il y a à éviter les interversions et à ne pas relier, par exemple, avec Mézières, le fil de Nancy qui doit aboutir à Paris.

Si la rupture n'excède pas $0^m,50$, on enlève au burin toute la partie brisée, par une coupe régulière de la fonte, et on la remplace par un manchon. Si le tuyau est brisé ou fêlé sur une grande longueur, il est préférable

de le déboîter et de l'enlever. On le remplace par un manchon et par un bout de tuyau coupé à la longueur voulue.

Il faut avoir soin, dans la substitution des fontes, de ne pas couper les communications qu'on avait rétablies. On glisse, à cet effet, dans les nouveaux

Fig 73

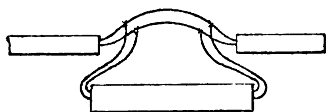
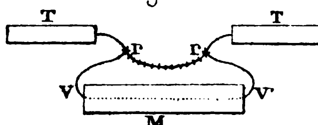
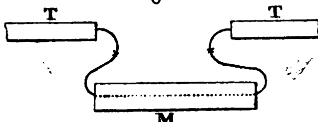


Fig. 74



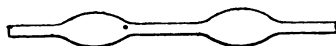
tuyaux (*fig.* 73 et 74) des câbles volants VV (*fig.* 73) qui viennent se raccorder *en double* aux joints de rupture $r\,r'$ où sont déjà raccordés les premiers fils auxiliaires. On enlève ces derniers rr' et on se trouve dans la situation indiquée par la *fig.* 75, situation qui permet de glisser le manchon M sur l'un quelconque des tuyaux.

Fig. 75.



Les câbles sont toujours tendus dans les conduites par suite du tirage. Il est impossible de rapprocher suffisamment les conducteurs pour les souder bout à bout. La rupture a d'ailleurs éraflé la gutta-percha, d'où la nécessité de rafraîchir les extrémités. On est réduit à intercaler une *baguette*, c'est-à-dire un bout de conducteur et à faire deux soudures rapprochées (*fig.* 76).

Fig. 76



Dans le cas ou la rupture de la fonte n'a pas entraîné

celle des conducteurs, on évite de couper ces derniers. Une lésion de la gutta peut se réparer sans toucher au cuivre; on procède comme pour une soudure ordinaire, sauf la torsade. La portion de fonte brisée est régularisée avec deux bouts et remplacée par un fourreau de même métal composé de deux demi-cylindre creux (*fig.* 78), emboîtant dans l'autre (*fig.* 77) et fixés sur la conduite au moyen des frettes (*fig.* 79). Les joints sur la conduite sont matés au plomb et à froid, les joints longitudinaux sont traités au serbat.

Fig. 77

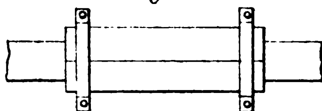
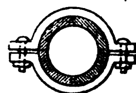


Fig. 78.



Fig. 79.



Câbles armés (dérangements et réparations).

Les causes de dérangements sur les câbles armés sont celles indiquées plus haut pour les lignes en tranchée. Les recherches sont conduites de la même manière et les réparations qui se réduisent à un remplacement d'une section de quelques mètres et à des soudures ne présenteront point de difficultés si l'on se reporte à ce que nous avons dit au chapitre des soudures.

Une observation importante à faire, c'est qu'il est interdit de couper en plein câble sans un ordre formel.

N. Beau,
Inspecteur.

DUPLEX ET DIPLEX

SUR LES LIGNES FRANCO-ANGLAISES ET FRANCO-BELGES

I.

Le 14 février dernier se produisait l'interruption simultanée des câbles franco-anglais de Boulogne-Folkestone, Dieppe-Newhaven, Havre-Beachyhead, interruption sans précédent dans les relations télégraphiques de la France avec l'Angleterre. Dix-sept fils sur vingt-deux en service entre les deux pays, faisaient défaut coup sur coup sans qu'il fût possible de les remplacer. Des cinq restant, l'un présentait un défaut dans le câble; les quatre autres, affectés de dérangements intermittents, ne donnaient au Hughes simple qu'un rendement sans rapport avec les besoins du trafic.

Dans le service intérieur français, le multiple Baudot a sauvé des situations plus graves; de même en Angleterre la rapidité du Wheatstone a permis de faire face à des exigences plus considérables; mais le réseau intermédiaire est loin d'avoir les mêmes ressources.

Au mois d'avril 1893, l'office anglais réalisait cependant sur ce point une importante amélioration.

Dans les essais de télégraphie et de téléphonie simultanées, effectués entre Paris et Londres, figurait l'emploi du système duplex au Wheatstone et au

Hughes. Cette dernière application fut même l'objet d'expériences si variées et d'observations si minutieuses qu'elle ressortit bientôt comme l'une des plus importantes du programme. En même temps un service pratique en duplex Hughes fut étudié et organisé successivement sur les câbles de Calais-Douvres, Boulogne-Folkestone et Dieppe-Newhaven. Le câble du Havre, ne pouvant fournir le rendement normal, avait été, dès le début, complètement éliminé.

Les résultats acquis pendant la période d'essais furent tels que l'administration française et l'office anglaise résolurent de maintenir provisoirement en service régulier une installation duplex Hughes.

Quand se produisit l'interruption du câble de Boulogne à Folkestone, le 14 février, il y avait près de deux ans que le poste central de Paris et le post-office de Londres utilisaient journellement, dans des conditions très satisfaisantes, ce système de transmission télégraphique. Aussi, lors de l'interruption du 14 février, le premier soin des correspondants fut-il de constituer d'autres installations duplex.

II.

L'installation duplex du Hughes (*fig.* 1), telle qu'elle fonctionne actuellement entre Paris et Londres, comprend : 1° un pont de Wheatstone à branches de proportions égales toutes deux à 1000^{ω} ; 2° un transmetteur M, placé en tête du pont ; 3° un récepteur H dans la diagonale ; 4° une résistance R, équilibrant en une branche du pont la résistance de la ligne réelle L ; 5° une série de trois condensateurs $CC'C''$ séparés par

des résistances graduées $rr'r''$ et constituant, avec la résistance R, la ligne factice; 6° un galvanomètre G, placé dans la diagonale du pont, utilisé pour établir la balance entre la ligne réelle et la ligne factice et indiquant en travail le sens et la valeur du courant d'arrivée; 7° enfin deux commutateurs multiples permettant de passer du simple au duplex et du Hughes au Morse.

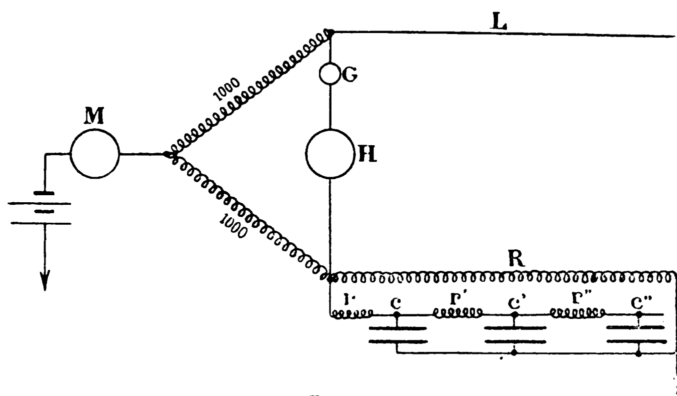


Fig. 1.

Avec le Hughes en usage au poste central et depuis le remplacement des piles par des accumulateurs, aucune modification n'est plus nécessaire dans les communications de l'appareil transmetteur. Au repos, comme dans la position de travail ou pendant le fonctionnement de la détente, la balance reste sensiblement la même, à la seule condition de mettre sur contact la manette de l'interrupteur.

A la Bourse, où les piles Callaud sont encore en usage, une résistance de 600$^{\omega}$ équivalent à la résistance intérieure de la pile a dû être installée sur la dérivation par la détente de façon à maintenir la ba-

lance à peu près égale dans toutes les positions du transmetteur.

L'installation du Hughes duplex se réduit ainsi à un dispositif peu compliqué, indépendant, dans lequel l'emploi des résistances et des condensateurs constituant le pont et la ligne factice ne présente ni particularité ni difficulté qui sorte de l'ordinaire.

La résistance totale R représentant la ligne et l'installation du correspondant varie sur les fils ordinaires de 3200$^{\omega}$ à 4000$^{\omega}$, suivant les heures de la journée et l'état de l'atmosphère; la capacité totale plus stable est d'environ 10 microfarads, quel que soit celui des trois câbles sous-marins utilisé. Avant le premier condensateur C la résistance r a varié de 350 à 800, les deux autres r et r'' de 1000 à 2200. Les capacités C C′ C″ sont en général chacune de trois microfarads et une fraction. La pratique seule indique les combinaisons les plus favorables à un équilibre sensiblement stable permettant d'assurer un travail régulier.

III.

A la vitesse normale de 120 tours par minute, le rendement de chaque Hughes fonctionnant en duplex augmente d'environ 25 pour 100, d'où il résulte que le rendement total du fil desservi est plus du double d'un fil ordinaire, il équivaut sensiblement à 2 1/2. Ce qui s'explique par ce fait que la transmission s'opère dans les deux sens continuellement sans arrêt et sans interruption. Le temps pris, en simple, pour l'alternat et pour les rectifications se trouve, en duplex, ou complètement éliminé ou considérablement réduit. De

plus, un transmetteur habile sait s'arranger pour ne perdre ni un tour, ni une combinaison, soit entre deux dépêches successives, soit pour une demande de rectification. Dans ces conditions, certains transmetteurs hors ligne sont arrivés à écouler, c'est-à-dire à terminer complètement, dix séries de dix télégrammes à l'heure sur chaque appareil. Le rendement pratique se rapprochait ainsi du rendement théorique plus que partout ailleurs et ce travail a été soutenu pendant des séances entières donnant pour un seul fil, en moins de sept heures, un total de 1.200 transmissions.

Ce résultat avait été favorisé, il est vrai, par la mise en service des fils de bronze construits pour le service téléphonique et utilisés provisoirement soit en télégraphie et téléphonie simultanées, soit exclusivement pour la télégraphie.

L'emploi des fils de bronze a permis de porter la vitesse des appareils Hughes à 140, 145 et même 150 tours, sans dépasser les conditions normales d'exploitation. Un seul incident, absolument imprévu et actuellement encore à peu près inexpliqué, s'est produit dans ce passage du fer au bronze, c'est la destruction immédiate et l'impossibilité de maintenir la balance en utilisant le positif à une extrémité et le négatif à l'autre. Le même fait s'est renouvelé chaque fois que, pour une raison ou pour une autre, un fil de bronze a été substitué à un fil de fer.

IV.

Deux méthodes différentes ont été suivies pour adapter les fils téléphoniques à la télégraphie. L'une utili-

sant chaque circuit en faisceau muni, côté de Londres, de bobines Jacob, et côté de Paris, de bobines Cailho. Mais cette combinaison ne procurait que deux communications télégraphiques sur les quatre fils composant les deux circuits, et encore chacune de ces communications ne pouvait être utilisée qu'en simple, l'urgence ne permettant pas de rechercher dans quelles conditions pouvaient être de nouveau réalisés les résultats obtenus pendant les expériences du mois d'avril 1893, résultats qui du reste n'avaient pas été confirmés par la pratique.

L'autre méthode, désastreuse pour le téléphone, mais imposée par les circonstances, consistait à prendre séparément chaque fil d'un circuit, en duplex, par le pont de Wheatstone et à réaliser ainsi quatre communications au Hughes par deux fils. Avec les quatre conducteurs du câble de Calais et le faisceau du deuxième circuit de Londres, on constituait ainsi, en y comprenant le fil défectueux du câble du Havre, dix communications télégraphiques entre la France et l'Angleterre.

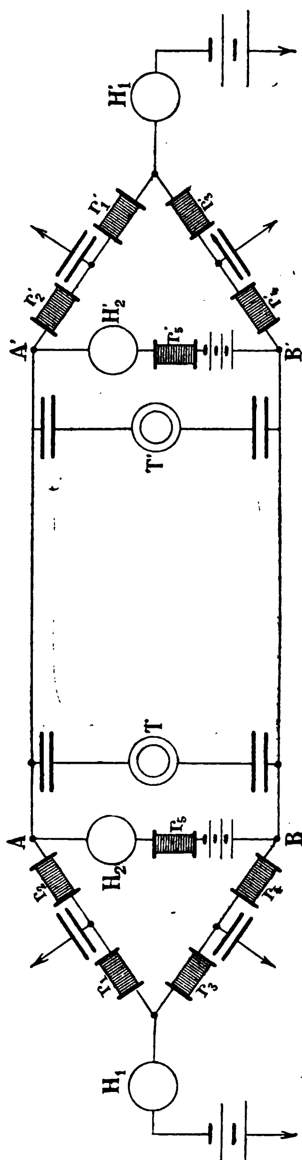
Un troisième duplex put être installé sur le fil de bronze du câble de Calais et par ce moyen les huit fils internationaux constituèrent onze communications télégraphiques, dont quatre exceptionnellement rapides.

S'il était possible, en cette circonstance, de formuler un regret, ce serait celui de n'avoir pu recourir au dispositif Dejongh actuellement utilisé sur l'un des circuits Paris-Bruxelles.

Ce système, dont l'idée première remonte assez loin, permet d'établir, en simultané sur le même circuit, deux communications télégraphiques indépendantes, desservies par l'appareil Hughes et une communica-

tion téléphonique. L'expérience pratique qui vient d'en être faite a été des plus favorables.

Sur deux fils AA′, BB′, constituant un circuit téléphonique métallique installé en Van Rysselberghe TT′, sont installés en H_1 et H'_1 deux appareils Hughes fonctionnant à peu de chose près dans les conditions de communications télégraphiques ordinaires constituées à l'aide de deux fils réunis en surface : seulement les deux lignes aboutissent dans chaque poste extrême aux branches de proportion d'un pont de Wheatstone qui sont formées à l'aide de quatre bobines anti-inductrices $r_1 r_2 r_3 r_4$, $r'_1 r'_2 r'_3 r'_4$ groupées deux à deux sur chaque branche et séparées par un condensateur de 1 microfarad. Chaque bobine présente une résistance d'environ 500^{ω}. Il résulte de là que les appareils installés en $H_2 H'_2$ sur la diagonale des ponts ne



sont pas influencés par les extrêmes H_1 et H'_1. D'autre part, un circuit direct venant d'une pile installée en H_2B ou H'_2D', ayant l'un de ces pòles relié au fil BB', l'autre pouvant être mis en communication avec le fil AA' établit une communication indépendante entre H_2 et H'_2 et réciproquement. De telle sorte qu'un seul circuit donne une communication téléphonique et deux communications télégraphiques absolument indépendantes.

Les résultats pratiques obtenus en service régulier entre Paris et Bruxelles ne laissent subsister aucune objection contre ce système. Les Hughes installés en H et H' fonctionnent dans des conditions pratiques aussi normales que sur un fil ordinaire; ceux qui dépendent du circuit A'A'H'_2BB'H_2 ont en pratique une marge de réglage plus grande que les extrêmes H_1 et H'_1.

L'adjonction du télégraphe au téléphone n'entrave en aucune façon les communications téléphoniques: celles-ci restent aussi silencieuses que de coutume.

A titre d'essai, pendant la journée du 4 mai, l'extrême H'_2 a été renvoyé à Anvers par un fil d'un circuit téléphonique et sans aucune difficulté de mise en route a assuré le service télégraphique de Paris central avec Anvers tandis que fonctionnaient régulièrement les deux communications téléphoniques Paris-Bruxelles et Bruxelles-Anvers.

D'autre part, l'extrême H_1 a été relié à Lyon, de manière à constituer sur le circuit télégrapho-téléphonique Paris-Bruxelles et Bruxelles-Anvers une communication directe télégraphique Lyon-Anvers.

L'expérience, concluante quoique de peu de durée, montre qu'on pourrait réaliser, sur un triple circuit

téléphonique Lyon-Paris, Paris-Bruxelles et Bruxelles-Anvers, trois communications téléphoniques indépendantes et quatre communications télégraphiques directes : Lyon-Anvers, Lyon-Paris, Paris-Bruxelles et Bruxelles-Anvers.

Et si l'on admet la possibilité d'utiliser chacune de ces communications télégraphiques en duplex, on peut prévoir sur trois circuits téléphoniques, en service pratique, *seize Hughes* en communication télégraphique simultanée.

H. Toussaint.

LA TRACTION ÉLECTRIQUE

SUR LA LIGNE

DU CHEMIN DE FER BALTIMORE-OHIO [1]

Au mois de septembre 1890, la compagnie du chemin de fer de Baltimore and Ohio, obtint l'autorisation législative de construire un tunnel sous la ville de Baltimore, afin de pouvoir faire traverser cette ville à ses trains sans être obligée de leur faire traverser la rivière sur un bateau. Le tunnel et la ligne, qui va de la station de Camden, dans le cœur de la ville, en se dirigeant d'abord vers le nord et ensuite vers l'est, jusqu'à Bay View Junction, a $11^{km},5$ de longueur environ. La traction des trains, tant de voyageurs que de marchandises, s'y fera entièrement par l'électricité. Cette expérience est le premier pas fait en Amérique vers la substitution de l'électricité à la vapeur sur les grandes lignes de chemin de fer à trafic intense.

Les locomotives électriques sont construites en vue d'un service très chargé et serviront à la traction des trains aussi lourds que ceux actuellement remorqués par les plus puissantes locomotives à vapeur. Elles devront remorquer quotidiennement 100 trains dans chaque direction, soit 200 en tout; chacun d'eux pèsera

(*) D'après *The Street Railway Journal*, janvier et juillet 1893, et *Engineering*.

de 450 à 1.100 tonnes. Un des trucks, complètement terminé, représentant la moitié de la locomotive, a été essayé dans les ateliers Schenectady. En vue de réaliser la charge nécessaire, une locomotive à vapeur à six roues motrices, empruntée au New-York Central, fut attelée au truck. Les deux machines tiraient chacune en sens opposé. Le truck électrique avait un léger avantage relativement au poids adhérent sur la locomotive à vapeur; il la remorqua aisément dans un sens ou dans l'autre. A poids adhérent égal, la locomotive électrique démarrerait plus facilement, l'effort étant constant pendant la rotation complète des roues, tandis qu'avec la locomotive à vapeur, l'effort de traction varie avec l'angle de la manivelle.

La ligne devait être inaugurée vers le mois de mars 1893. Mais le tunnel n'a été terminé que vers la fin de cette année, et l'installation électrique n'a été commencée qu'en janvier 1895.

Le tunnel traverse le centre de la ville, sous Howard Street, une des rues les plus fréquentées de Baltimore; il fallait donc le construire sans interrompre la circulation intense de cette voie; on eut recours, dans ce but, à des puits et des galeries percés dans les caves des maisons voisines. Le sol est composé principalement de sable que traversent des couches de gravier et d'argile dure qui dut être, en différents cas, attaquée à la dynamite. De nombreuses infiltrations d'eau rendaient le travail difficile. La longueur du tunnel est de 2.238 mètres environ; ses dimensions intérieures maxima sont $8^{m},30$ de large et $6^{m},70$ de haut. Son prix de revient est de 3.700 francs environ par mètre linéaire, complètement terminé et prêt à recevoir les voies.

La station centrale (*fig.* 1) située dans la rue Howard, est un bâtiment d'un étage, de 9 mètres environ de hauteur et construit presque entièrement en matériaux réfractaires; il a $98^m,25$ de longueur totale et est divisé en deux parties : la chambre des machines a $68^m,25$ de longueur et $17^m,60$ de largeur, tandis que la salle de chauffe à $30^m \times 21$.

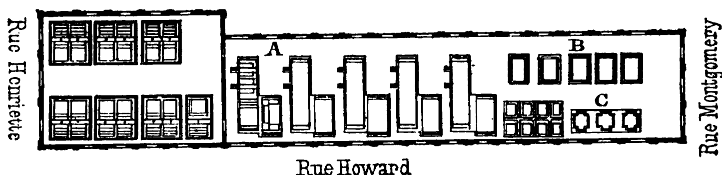


Fig. 1. — Plan de la station centrale.

A, moteurs compound tandem, accouplés directement à des générateurs multipolaires de 500 kilowatts;
B, moteurs compound;
C, alternateurs, type A, 120.

Cette dernière contient 12 chaudières de 250 chevaux de capacité chacune, arrangées en six batteries disposées symétriquement par rapport à un passage central. Elles sont du type Root, à tubes à eau; chacune contient 11 rangées superposées de 12 tubes chacune, avec 6 cylindres de 37 centimètres, et un cylindre à vapeur de 76 centimètres.

La combustion est activée par un tirage mécanique. Tous les carneaux à fumée des chaudières viennent se réunir dans une chambre unique qui a $2^m,75$ de diamètre, et dans laquelle deux ventilateurs Sturtevant tournent à raison de 240 tours par minute. Cette chambre est située à la base de la cheminée en fer qui a $2^m,15$ de diamètre et $15^m,50$ de hauteur au-dessus du plancher. Chaque ventilateur est entraîné par courroie, par un moteur vertical de 10 chevaux, placé

dans la salle des chaudières ; un seul ventilateur suffit à assurer le tirage ; l'autre sert de réserve.

Un broyeur et transporteur C.-W. Hunt apporte le charbon aux chaudières et enlève les cendres ; deux pompes duplex de Deane, et un réchauffeur de Webster, d'une capacité de 3.000 chevaux, complètent l'installation de la chaufferie.

La canalisation de vapeur a reçu une attention particulière pour éviter que l'eau entraînée des chaudières ne puisse pénétrer dans la canalisation de la salle des machines. En outre, une innovation importante a été introduite ; chaque conduite principale est munie d'une valve qui coupe automatiquement de l'ensemble toute chaudière dont un tube s'est brisé. Des séparateurs placés près de chaque moteur recueillent l'eau de condensation qui retourne aux chaudières avec un très faible refroidissement.

Les générateurs pour l'éclairage et ceux pour la traction sont placés dans la même salle, comme le représente le plan (*fig.* 1).

Nous ne nous occuperons pas de l'éclairage qui est assuré par 8 génératrices, à arc de 50 lampes chacune et par 2 alternateurs de 2.000 lampes de 16 bougies chacun. L'éclairage du tunnel est fait par 1.000 lampes de 32 bougies.

Il y a actuellement pour la traction quatre groupes en service et place pour un cinquième ; chacun d'eux comprend un moteur Reynolds Corliss, construit par S.-P. Allis and C°, du type horizontal, compound. Les deux cylindres, montés en tandem, ont 61 centimètres et 101^{cm},6 de diamètre, avec une course commune de 106^{cm},7. Ils sont directement accouplés à des générateurs multipolaires de la General Electric C°, tournant

à raison de 110 tours par minute, et d'une puissance de 500 kilowatts. L'enroulement est du type tambour et les conducteurs sont noyés dans le noyau qui est en fer lamellaire. La carcasse des inducteurs est en acier. L'enroulement est tel que la machine donne 600 volts à charge nulle et 700 volts à pleine charge.

Le courant est conduit de chaque génératrice au tableau de distribution par un câble de 645 millimètres carrés de section. Le tableau comprend quatre panneaux en marbre blanc, muni des appareils de contrôle et de sécurité les plus perfectionnés.

La barre omnibus positive est reliée par 8 câbles en cuivre de 322 millimètres carrés de section chacun, soit une section totale de 2.580 millimètres carrés, à trois feeders qui alimentent le conducteur aérien, et à ce conducteur lui-même, équivalent chacun à une section de cuivre de 645 millimètres carrés. La barre omnibus est reliée aux rails et à un conducteur de retour placé dans une conduite en bois, entre les voies. Les joints électriques des rails, pour assurer un bon retour, consistent en deux fils n° 0000 (11.683^{mm} de diamètre) munis à chaque extrémité d'un rivet creux qui est inséré dans les joues des rails, et qui est ensuite dilaté en y forçant une cheville conique en acier.

La longueur de la ligne à traction électrique est d'environ 4.500 mètres; elle comprend deux tunnels, un de 2.238 mètres, l'autre de 81^{m},80, et 2.255 mètres de voie à l'air libre.

Trois voies ont été posées jusqu'à l'entrée sud du tunnel; deux voies traversent celui-ci, il y a quatre voies à l'extrémité opposée du tunnel; et deux voies vont jusqu'à Huntington Avenue, où un garage a été

disposé pour les locomotives électriques. Le tunnel est en rampe de 0,8 p. 100, du sud au nord; la ligne

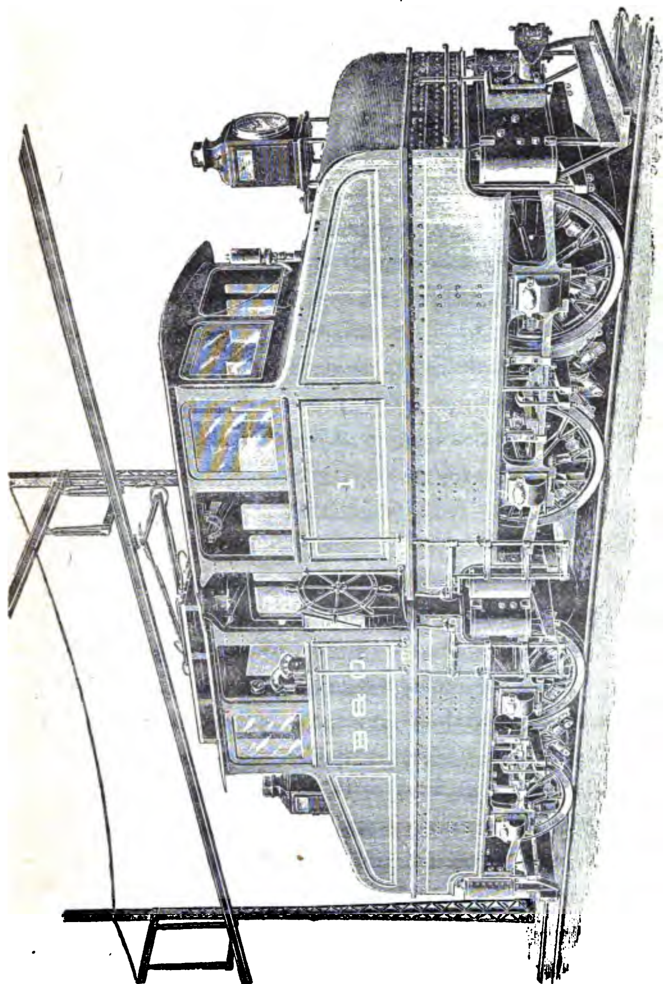


Fig. 2. — Vue latérale de la locomotive électrique du chemin de fer Baltimore-Ohio.

à ciel ouvert a deux courbes de 10 degrés (le degré adopté comme unité pour évaluer les courbes aux

Etats-Unis correspond à 1 degré de déflexion angulaire pour un parcours de 100 pieds), avec une rampe régulière de 1,5 p. 100.

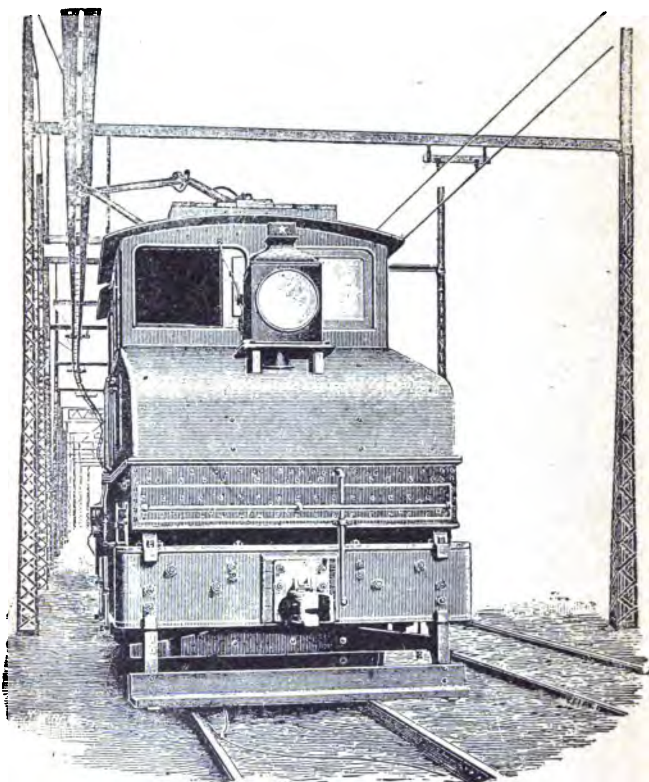


Fig. 3. — Vue en bout de la locomotive électrique du chemin de fer Baltimore-Ohio.

L'exploitation électrique des trains de marchandises commencera à la voie principale, au sud de la station de Camden, où ils seront aiguillés dans la voie conduisant au tunnel. La locomotive électrique sera ensuite couplée à l'arrière du train, sans arrêter celui-ci, et elle le poussera jusqu'au portail de Mount Royal Ave-

nue, sur une distance de 2.484 mètres; pendant tout ce parcours, la locomotive à vapeur n'accomplira aucun travail. Au sortir du tunnel, cette dernière sera mise en marche; le train sera ainsi tiré et poussé, en raison de la rampe plus considérable de cette partie de la ligne. A Huntington Avenue, la locomotive électrique sera dételée. La vitesse moyenne sur la distance entière, sera de 24 kilomètres à l'heure.

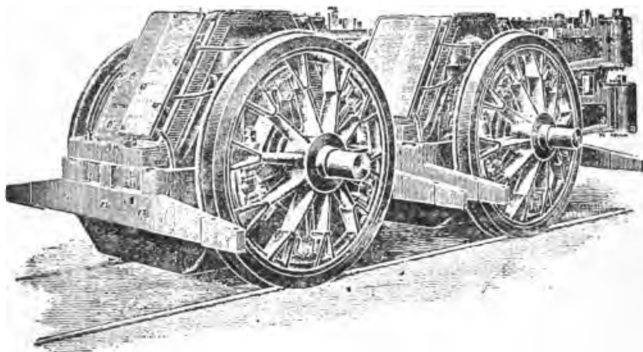


Fig. 4. — Vue perspective d'un des trucks, montrant les moteurs et le mode d'entrainement des roues.

Par crainte des accidents qui pourraient se produire si un wagon accidentellement détaché du train sur la voie en pente se précipitait sur la locomotive électrique marchant à raison de 48 kilomètres à l'heure, l'exploitation des trains de voyageurs ne se fera pas de la même façon, mais par attelage à l'avant. L'exploitation électrique commencera à la station de Lombard Street, et finira à la station de Bolton Street.

La vitesse maxima est de 80 kilomètres à l'heure; à pleine charge elle n'est que de 24 kilomètres à l'heure et, à demi-charge de 48 kilomètres à l'heure.

Nous arrivons à la partie la plus intéressante de

l'installation : aux locomotives électriques. Ce sont de puissantes machines ne pesant pas moins de 96 tonnes américaines, soit 69.168 kilogrammes. Nous en représentons l'aspect extérieur dans les *fig.* 2 et 3. Les *fig.* 4, 5 et 6 représentent un des deux trucks sur la description desquels nous reviendrons bientôt. Elles ont été construites par la General Electric Company. Voici leurs principales données :

Nombre de trucks	2
— de moteurs	4 (2 sur chaque truck)
Poids adhérent total	69.168^{kg}
Nombre de roues motrices	8
Effort de traction	19.068^{kg}
— de démarrage	27.240^{kg}
Écartement de la voie	1^{m},435
Diamètre extérieur du bandage des roues motrices	1^{m},575
Longueur totale	10^{m},670
Hauteur jusqu'au toit de la cabine des mécaniciens	4^{m},340
Écartement des roues de chaque truck, d'axe en axe	2^{m},080
Largeur extrême	2^{m},900
Diamètre des fusées	0^{m},330

Les trucks sont en fer forgé; chacun repose sur 4 roues en acier fondu. Chaque essieu est actionné

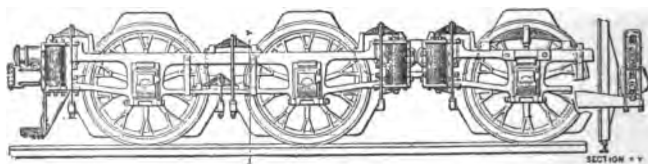


Fig. 5 et 6. — Vue latérale des trucks montrant la méthode d'accouplement et détail.

par un moteur électrique à 6 pôles qui est suspendu élastiquement et dont l'arbre de l'armature, creux, est enfilé sur l'essieu, et entraîne les roues par des accouplements élastiques. Les armatures sont du type ironclad. La partie du manchon d'accouplement solidaire de l'armature est formée par une étoile à 5 branches en

acier fondu; chaque bras est pourvu à son extrémité extérieure d'un double tampon en caoutchouc, avec un épaulement extérieur en fonte de fer qui supporte l'usure; les tampons sont forcés entre les bras de l'étoile et cet épaulement. Ces tampons s'engagent entre les jantes des roues motrices qu'elles entraînent, comme on le voit clairement sur la *fig.* 4. Il y a un manchon d'accouplement à chaque extrémité de l'armature; toutes les roues sont donc motrices; elles sont clavetées sur les essieux qui sont en acier. Les paliers des essieux sont à l'extérieur des roues et laissent un

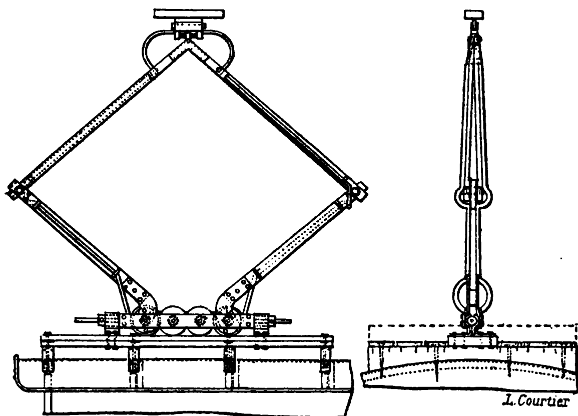


Fig. 7 et 8. — Vue latérale et vue en bout du trôlet.

accès facile à toutes les parties du truck. Ces parties de la locomotive sont analogues dans leurs grandes lignes à celles des locomotives ordinaires et des wagons à voyageurs; nous n'y insisterons pas. Les barres d'accouplement à chaque extrémité de la locomotive sont du type Janney, employé sur toutes les voitures de la ligne.

Les mécaniciens sont placés dans une cabine faite en feuilles d'acier et qui repose sur les trucks par 4 ressorts demi-elliptiques; elle est munie de fenêtres qui permettent à la vue de s'étendre dans toutes les directions; les échelles qui y donnent accès de chaque côté sont solidaires des cabines. A l'intérieur de celles-ci sont placés tous les organes de commande des moteurs, des freins, des sifflets et cloche d'avertissement qui sont actionnés par l'air comprimé. L'ensemble de la locomotive est armé d'une cuirasse en feuille d'acier.

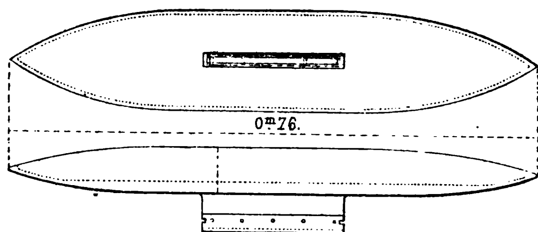


Fig. 9 et 10. — Sabot de contact du trôlet.

Les moteurs sont au nombre de 4, un pour chaque essieu; ils sont supportés élastiquement. Ils sont de forme pyramidale; chacun d'eux a 6 pôles et 6 paires de balais en charbon qui sont montées sur une culasse pouvant tourner de 360 degrés, afin de faciliter leur accès. On peut retirer 4 balais sans arrêter la marche du moteur. Les bobines inductrices sont placées dans des cases en fer lamellaire, et enfilées sur les projections polaires; elles sont fixées à la carcasse du moteur. Les armatures sont enroulées en série. L'arbre creux de l'armature repose dans des manchons solidaires de la carcasse des inducteurs; son diamètre est d'environ 6cm,25 plus grand que le diamètre extérieur

de l'essieu sur lequel il est enfilé, ce qui, avec les tampons élastiques des manchons d'accouplement,

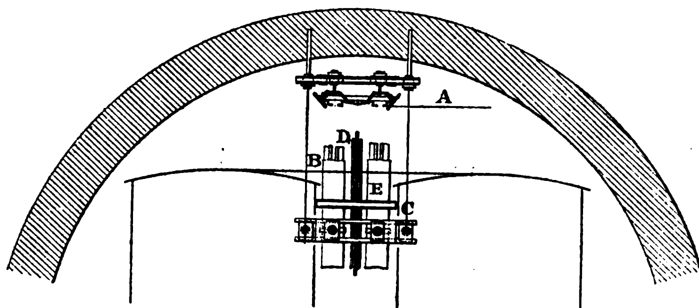


Fig. 11. — Section transversale du tunnel principal montrant le mode de suspension des conducteurs.

A, bas du conducteur;
B, toiture des wagons (on voit aussi, sur cette figure, entre les deux wagons, la projection horizontale de la suspension des conducteurs);
C, canaux pour fixer les crampons des feeders;
D, câbles d'alimentation;
E, conducteur.

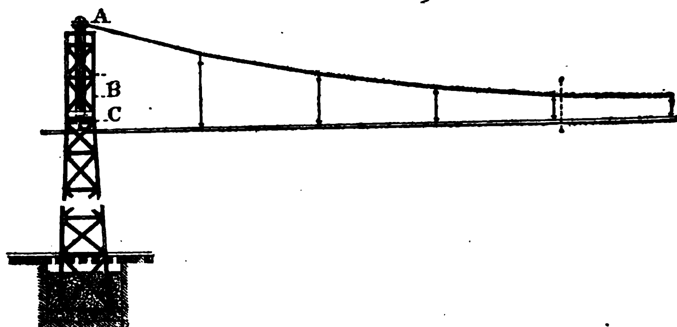


Fig. 12. — Coupe longitudinale de la suspension des conducteurs en alignement droit.

A, capuchon du poteau isolateur;
B, poteau isolateur;
Écartement de centre en centre des colonnes 45^{m},5 environ.

empêche les chocs provenant des inégalités de la voie de se transmettre aux moteurs. Chaque moteur a une

puissance normale de 360 chevaux, ce qui fait, pour l'ensemble, une puissance de 1.440 chevaux; chaque moteur prend 900 ampères en service normal et 300 volts; comme la tension de distribution est de 600 à 700 volts, les deux moteurs sur chaque truck sont montés en série. Le contrôleur est du type série-parallèle; les résistances sont placées autour de la charpente, sous le plancher de la cabine. Un coupe-circuit automatique, de 1.200 à 3.500 ampères, et un

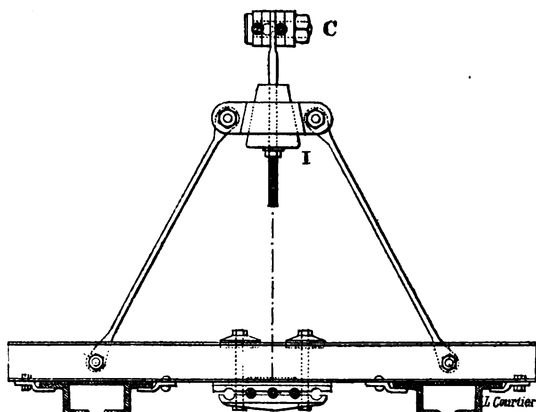


Fig. 13. — Coupe transversale suivant DD de la suspension des conducteurs en alignement droit.

extincteur magnétique de 2.000 ampères, ainsi qu'un ampèremètre Weston de 5.000 ampères et un voltmètre Weston, complètent l'équipement électrique de la locomotive.

L'air comprimé nécessaire pour la manœuvre des freins, des sifflet et cloche d'alarme, est fourni par une pompe oscillante mue électriquement. L'intérieur de la cabine est éclairé par des lampes à incandescence.

La prise de courant se fait par un sabot de contact

en cuivre, ayant la forme d'une navette. Ce trôlet est représenté par les *fig.* 7 à 10. Le sabot de contact est supporté par un bras articulé qui assure un bon contact quelle que soit la hauteur du conducteur aérien, et qui peut être incliné d'un côté de la voiture ou de l'autre suivant le sens de la marche, afin de venir au contact de ce conducteur aérien qui est placé sur le côté de la voiture, dans l'entrevoie ; il ne peut se mouvoir dans le sens longitudinal de la voiture. Le courant est amené aux moteurs par des câbles fixés au sabot et attachés aux bras du trôlet.

Le conducteur aérien est placé au-dessus du milieu de la voie, lorsque celle-ci est à l'air libre, et dans l'entre-voie, sous le tunnel, comme le représente la *fig.* 11. Cette disposition a été adoptée pour éviter que les serre-freins qui se tiennent sur la toiture des wagons à marchandises, ne puissent toucher accidentellement les conducteurs. Ceux-ci sont en outre masqués latéralement par des lattes en bois. Il s'étend sur une longueur de 4.575 mètres environ. Il consiste en deux barres de fer en Z, de $7^{cm},5$ de hauteur, de 1 centimètre d'épaisseur, rivées à une plaque supérieure de $0^{m},06$ d'épaisseur et de $29^{m},25$ de largeur. Il est construit en sections de $9^{m},15$ de longueur et pèse 45 kilogrammes environ par mètre linéaire. Il est supporté, dans le tunnel, par des isolateurs en porcelaine fixés, tous les $4^{m},55$ environ, à des charpentes transversales (*fig.* 11). Les boulons qui fixent ces charpentes dans la maçonnerie du tunnel sont aussi isolés, afin d'éviter autant que possible les pertes à la terre. La hauteur des conducteurs au-dessus des rails est de $5^{m},337$ dans le tunnel et à l'air libre de $6^{m},70$.

En raison du poids considérable du conducteur, on a

dû, hors du tunnel, adopter un mode de suspension particulier qui est représenté en *fig.* 12 et 13. Les conducteurs sont fixés à une barre transversale (*fig.* 13) tous les 4^{m},55. Ces barres sont soutenues à peu près comme le tablier d'un pont suspendu par des chaînes C formées de tiges de fer et qui sont fixées tous les 45^{m},5 à des traverses, placées au-dessus de la voie



Fig. 14. — Coupe longitudinale de la suspension des conducteurs en courbe.

et soutenues par des colonnes en fer à jour, placées à l'extérieur des voies. Les chaînes C supportent les barres transversales par l'intermédiaire d'un étrier, isolé en I par un cône en porcelaine. Les chaînes sont elles-mêmes isolées, à leurs points de suspension par des poutres en pin jaune, en sorte qu'on a, dans ce cas comme dans celui de la suspension sous le tunnel, un double isolement. Aux extrémités de la ligne, les conducteurs sont ancrés à des piliers spéciaux. Les traversent qui servent à fixer les chaînes varient en longueur, de 9^{m},15 à 18^{m},90 suivant que la ligne comprend 2 ou 5 voies.

En alignement droit, les conducteurs sont suspendus à une seule chaîne, mais en courbe, on emploie une double chaîne (*fig.* 14 et 15); l'isolateur conique est alors renversé et supporté dans un bloc boulonné à deux tiges verticales qui descendent des chaînes. Les tiges verticales supportent une charpente creuse à la-

quelle sont boulonnés les conducteurs et les crampons qui fixent les feeders. Chaque section des conducteurs est reliée électriquement à sa voisine par un éclissage électrique « Chicago », de deux fils de cuivre n° 0000.

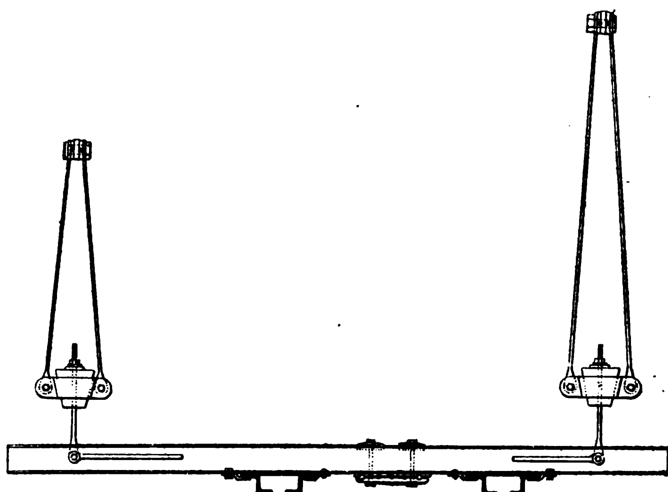


Fig. 15. — Coupe transversale de la suspension des conducteurs en courbe.

Les feeders sont des câbles en cuivre nu à 61 brins. Ils sont supportés par des crampons fixés dans les barres transversales et rivés aux conducteurs aériens aux points choisis.

(*Éclairage électrique*, 17 août 1895).

CHRONIQUE.

Sur la résistivité des corps médiocrement conducteurs.

M. B.-O. Peirce vient de faire au laboratoire de physique de Jefferson (États-Unis) une étude sur ce sujet présentée le 10 octobre dernier à l'American Academy. Nous croyons intéressant de reproduire quelques-uns de ses résultats exprimés en unités pratiques.

La résistivité d'un marbre sortant de la carrière est très faible, à cause de l'humidité qu'il renferme; après séchage, elle atteint 1.000 et jusqu'à 10.000 mégohms centimètres.

L'immersion prolongée d'un corps médiocrement conducteur dans un bain de paraffine fondue, propre et chaude, augmente toujours sa résistivité, même si la surface ne semble pas conserver la moindre couche superficielle d'isolant. L'accroissement de résistivité est faible pour les bois à grain serré tels que le palissandre; cette résistivité devient trois à quatre fois plus grande avec les conducteurs poreux.

On augmente encore l'isolement en plaçant le bain dans un réservoir où l'on fait le vide et où l'on réadmet l'air à plusieurs reprises. Ce procédé est d'ailleurs en usage pour l'isolement des bobines de galvanomètre. Une couche de gomme-laque imparfaitement sèche diminue toujours l'isolement d'un corps poreux.

La résistivité des bois dépend du sens du passage du courant par rapport aux fibres; elle est de de 20 à 50 fois plus grande lorsque le courant passe transversalement aux fibres que lorsqu'il passe dans le sens même de ces fibres.

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus avec différents échantillons de corps médiocrement conducteurs Sans être absolus, ces chiffres donnent tout au moins l'ordre

de grandeur et la valeur isolante des principales matières employées dans la construction des appareils industriels.

	Résistivité la plus faible trouvée en mégohms-cm.	Résistivité moyenne des échantillons en mégohms-cm.
Frêne	380	700
Cerisier	2.800	6.000
Acajou	310	610
Chêne	1.050	2.200
Sapin	17	1.050
Pin blanc	360	1.470
Noyer	320	2.100
Fibre vulcanisé	3	60
Ardoise	184	280
Stéatite	330	500
Marbre blanc	2.000	8.800

Les bois expérimentés ont été desséchés pendant quelques semaines, les pierres ont été séchées au soleil pendant trois semaines.

Un bloc moyen de grès, conservé depuis cinq ans dans le laboratoire dans un endroit sec, a présenté une résistivité de 30 mégohms centimètres. Les résistivités du sapin sont très variables et d'autant plus faibles que le bois est plus résineux, quel que soit le degré de siccité. Le bois du bouleau sec que l'on emploie quelquefois pour séparer les plaques d'accumulateurs, a une résistivité de 500 mégohms centimètres.

(Extrait de l'*Industrie électrique*).

Préparation et propriétés du borure de fer.

Note de M. Henri Moissan.

Ce produit est obtenu en portant de la fonte borée obtenue au four électrique en chauffant.

On peut obtenir aussi une fonte borée au four électrique en chauffant, dans un creuset de charbon brasqué avec du bore, des morceaux de fer doux de bonne qualité. La réaction peut alors se produire sur des masses plus grandes et avec un cou-

rant de 300 ampères et 65 volts, la chauffe ne doit pas durer plus de 5 à 6 minutes.

Si la température est trop élevée, le carbone du creuset intervient dans la réaction et la fonte borée renferme une quantité variable de borure de carbone cristallisé.

Les culots métalliques, préparés soit au four à tube, soit au four électrique, sont concassés et attaqués par l'acide chlorhydrique étendu de deux à trois fois son volume d'eau. On dissout ainsi l'excès de fer et il reste ensuite une matière cristalline qu'on lave à l'eau, puis à l'alcool et à l'éther pour éviter dans sa dessiccation l'action simultanée de l'acide carbonique et de l'humidité. Les cristaux obtenus dans ces conditions présentent une composition constante. C'est le borure de fer de formule BoFe. Le borure de fer se présente en cristaux brillants, de plusieurs millimètres, d'un gris un peu jaunâtre. Sa densité est de 7,15 à 18°. Ces cristaux sont inaltérables dans l'air ou dans l'oxygène sec. En présence de l'air humide, ils se recouvrent avec facilité d'une couche ocreuse.

Les analyses conduisent, pour le composé cristallisé obtenu par ce procédé, à la formule BoFe.

En élevant la température du four électrique au moment de la préparation de la fonte borée, nous n'avons jamais pu obtenir d'autres combinaisons. A ces hautes températures, la chimie semble se simplifier et l'on n'obtient plus qu'une seule combinaison de formule très simple.

(*Comptes rendus*, 28 janvier 1895).

Action d'un courant électrique sur une série de métaux sulfurés en fusion.

Note de M. Jules GARNIER.

Après avoir établi que le carbone chauffé au rouge, sous l'influence d'un courant électrique de faible voltage, se transporte du pôle positif au pôle négatif des électrodes, ce qui m'a permis d'indiquer une nouvelle méthode de cémentation du fer, j'ai pensé que cette action d'un courant électrique ne devait pas se limiter au carbone : pour m'en assurer, j'ai re-

pris mes expériences aux ateliers de M. Hillairet, grâce auquel j'ai pu réaliser mes idées.

J'employai le dispositif déjà décrit dans mes Notes des 19 juin 1893 et 12 mars 1894, c'est-à-dire un tube en terre réfractaire, traversant horizontalement un four à réverbère et recevant, dans la partie du tube chauffé, la matière à électriser, maintenu entre les deux électrodes; le courant était fourni par une machine Gramme.

J'opérai d'abord sur une matière très complexe, une matte brute de nickel que j'avais rapportée de Sudbury (Canada); j'en plaçai une certaine quantité dans le milieu du tube, entre deux crayons de charbon; les intervalles entre les crayons et les parois du tube étaient remplis de terre réfractaire mêlée de charbon de bois, pour éviter l'intrusion de l'oxygène, mais non la sortie des gaz sous faible pression qui se formeraient pendant l'opération et pourraient s'échapper par les craquelures que produit le chauffage dans ce mastic d'argile.

La matte étant fondue, je fis passer un courant de 10 volts et 23 ampères qui ne subissait que de très faibles oscillations, d'après les voltmètres, preuve d'une grande régularité dans la conductibilité du mélange fondu; de plus, le voltage s'abaissa progressivement, bien que la température du réverbère fût à peu près constante, ce qui prouvait que le mélange changeait de nature.

Après une heure de chauffe, refroidissement lent et arrêt du courant, j'ouvris le tube; le crayon positif était usé en forme de biseau, à la partie supérieure de son extrémité, pendant que le crayon négatif était intact; quant à la matte, je fis faire l'analyse des parties qui s'étaient solidifiées au contact de deux électrodes.

Voici les résultats que m'a remis le laboratoire de l'École des mines, à la date du 15 décembre 1894; j'ai seulement éliminé les parties insolubles dans les acides provenant de fragments des parois du tube, restés fortement collés à la matte après le refroidissement.

L'analyse (1) est celle de la matte initiale; les analyses (2) et (3) sont respectivement celles des matières au contact de l'anode et de la cathode après l'opération; enfin l'analyse (4) est la moyenne de (2) et (3) :

	(1)	(2)	(3)	(4)
Soufre (p. 100)........	21,10	16,60	4,70	10,65
Fer (p. 100)...........	33,30	35,40	49,10	42,30
Nickel (p. 100)........	16,30	5,13	19,10	12,14
Cuivre (p. 100)........	29,00	39,90	26,13	33,02
	99,70	99,20	99,03	98,11

Il ressort de ces analyses que :

a. Le soufre s'est éliminé dans la proportion de 50 p. 100, se maintenant avec le cuivre, surtout près de l'anode.

b. Le fer se maintient près de la cathode, où il semble s'accumuler d'après l'analyse moyenne (4).

c. Le nickel augmente régulièrement en quantité, de l'anode à la cathode.

d. Le cuivre va en diminuant, dans une proportion très régulièrement arithmétique, de l'anode à la cathode.

Je pense que l'on peut conclure de l'ensemble de cette expérience que :

1° Le soufre combiné aux métaux, à l'état fondu, à l'abri de l'air, et traversé par un courant électrique, les électrodes étant de charbon, au moins l'anode, s'élimine peu à peu; il se forme sans doute du sulfure de carbone;

2° Dans un mélange de sulfures métalliques fondus, à l'abri de l'air, traversé par un courant électrique, la conductibilité électrique du mélange reste *homogène* à chaque instant considéré, augmentant peu à peu par suite de l'élimination successive au soufre; quant aux métaux et au soufre restant, ils se groupent entre eux de façon que chaque tranche élémentaire du bain, prise perpendiculairement au sens du courant, ait la même conductibilité électrique. Aussi, le cuivre, plus conducteur que le fer et le nickel, conserve la plus forte proportion de soufre, de manière que son pouvoir conducteur soit réduit dans le rapport voulu.

Il est possible, je pense, en s'appuyant sur les expériences ci-dessus, d'expliquer certains phénomènes observés : par exemple, le mode de répartition des métaux sulfurés ou non qu'on rencontre dans les filons.

Jules Garnier.

(*Comptes rendus*, 28 janvier 1895).

Vibration du diapason dans un champ électrique.

Note de M. MAURAIN présentée par M. Mascart.

On sait, par diverses expériences antérieures, que l'aimantation modifie les propriétés élastiques des corps. On peut montrer commodément cette action en plaçant un diapason dans un champ magnétique : le nombre de vibrations qu'il effectue par seconde est modifié, et cela d'une façon qui dépend de son orientation dans le champ.

J'ai fait trois séries d'expériences. Dans les deux premières, l'axe du diapason était perpendiculaire au champ, le plan de ses branches étant disposé de telle sorte que les vibrations s'effectuaient parallèlement ou perpendiculairement au champ; celui-ci était produit par un électro-aimant de Ruhmkorff. Dans la troisième série, l'axe du diapason était parallèle au champ, l'orientation du plan de ses branches étant d'ailleurs indifférente; le champ était alors produit par une bobine à l'intérieur de laquelle était le diapason, l'extrémité des branches dépassant seulement pour qu'on pût le mettre en mouvement.

Les vibrations étaient comparées, par inscription, à celles d'un autre diapason placé en dehors du champ.

Les nombres qui suivent indiquent les rapports des nombres de vibrations effectuées pendant le même temps par le diapason observé et le diapason extérieur de comparaison.

1° *Axe perpendiculaire et plan de vibration parallèle au champ.*

Intensité du courant magnétisant (en ampères)	0	2	4,1	7,8	12	16,7
Rapports.	1,8327	1,8249	1,8158	1,7873	1,7748	1,7624

Le nombre de vibrations diminue à mesure que le champ augmente, cette diminution atteignant 3,8 p. 100 pour le champ le plus élevé, d'environ 6.350 unités C. G. S.

2° *Axe et plan de vibration perpendiculaire au champ.*

Intensité du courant. . . .	0	4,9	9,6	17,25	11,8
Rapports.	1,8387	1,8396	1,8407	1,8460	1,8526

Ici le nombre de vibrations augmente avec le champ, cette augmentation atteignant 0,75 p. 100 pour un champ de 6.530 unités C. G. S.

3° *Axe parallèle au champ.*

Valeur du champ.	0	225	427	503	697	787	1090
Rapports. . .	1,8350	1,8361	1,8371	1,8380	1,8393	1,8402	1,8420

Le nombre de vibrations augmente de 0,38 p. 100 pour un champ de 1.090 unités.

Chacun des nombres donnés est la moyenne des résultats de plusieurs mesures, trois au moins, les écarts entre ces résultats étant d'ailleurs très faibles : ils ne portaient que sur une ou deux unités, au plus, du chiffre des millièmes, et souvent seulement sur le chiffre des dix-millièmes.

Si les nombres qui correspondent aux mesures faites dans un champ nul pour chacune des trois séries ne sont pas les mêmes, cette circonstance tient au changement des styles en roseau qui servaient à l'inscription.

Dans la première série d'expériences, où les variations étaient le plus considérables, j'ai constaté un effet bien marqué d'hystérésis ; en faisant parcourir au courant un cycle fermé, la diminution du nombre de vibrations, pour une même intensité, était plus grande au retour qu'à l'aller. Les nombres indiqués plus haut correspondent à des expériences dans lesquelles le courant avait été progressivement élevé de 0 à l'intensité voulue ; voici maintenant les résultats obtenus lorsque le courant avait d'abord été élevé au maximum, puis ramené à l'intensité convenable :

Intensité du courant	0	2	4,1	7,8	12
Rapports.	1,9308	1,8224	1,8076	1,7861	1;7726

Cet effet n'est probablement pas dû au diapason lui-même, les vibrations devant empêcher tout retard d'aimantation. Il pouvait provenir soit d'un retard dans l'action du champ sur l'élasticité de l'acier, soit du retard d'aimantation des armatures de l'électro-aimant, soit encore de ces deux causes à la fois.

On doit remarquer que, dans les expériences précédentes, la valeur réelle de la force magnétisante à l'intérieur des branches du diapason ne pourrait être appréciée qu'en tenant

compte de la force démagnétisante due au magnétisme induit.

Les vibrations s'amortissent d'autant plus rapidement que le champ est plus intense; cet amortissement est dû, au moins pour la plus grande partie, aux courants dits *de Foucault* qui tendent à s'opposer au mouvement.

J'ai fait aussi quelques expériences au moyen d'une barre de laiton placée à l'intérieur de la bobine magnétisante et vibrant transversalement, mais je n'ai pu déceler aucune influence du champ magnétique, les différences entre les nombres trouvés étant de l'ordre des erreurs d'expérience.

(*Comptes rendus*, 29 juillet 1895).

Sur un nouvel élément de pile.

Note de M. Morisot présentée par M. Lipmann.

J'ai l'honneur de faire connaître à l'Académie un nouvel élément de pile qui me semble avantageux par sa f. é. m. plus grande que celle des couples usuels, et aussi par son intensité sensiblement constante.

Cet élément est constitué de la manière suivante :

1° Le pôle positif est une lame de charbon de cornues plongée dans le vase extérieur, au milieu du liquide dépolarisant. Celui-ci se compose d'un volume d'acide sulfurique mêlé à trois volumes d'eau qu'on a préalablement saturée à froid de bichromate de potasse. Des cristaux de ce sel, maintenus par un entonnoir court dans la partie supérieure du liquide, maintiennent la saturation.

2° Un premier diaphragme en terre poreuse, immergé dans le liquide dépolarisant, contient une dissolution étendue de soude caustique (densité = 1,05 environ).

3° La lame de zinc amalgamé, qui est le pôle négatif, plonge, au milieu d'un second diaphragme intérieur au premier, dans une solution concentrée de soude caustique. La même substitution, faite en 1880 par M. Reynier dans la pile de Daniell, élève la force électromotrice de cette dernière de 1,1 volt à 1,6 volt environ; soit très sensiblement le même accroissement (densité = 1,25 environ).

La force électromotrice de cet élément est de 2,5 volts au

début. Elle se maintient ensuite au-dessus de 2,4 volts pendant dix heures au moins d'action non interrompue.

La résistance intérieure est de 0,8 ohm environ; elle varie du reste aves l'épaisseur et la structure des diaphragmes.

Dans les expériences que j'ai faites, les volumes employés étaient :

Pour le liquide dépolarisant..........	660 cm³
Pour la soude faible...............	130
— concentrée............	110

Dans ces conditions, l'intensité s'est maintenue très près des valeurs suivantes :

Pour une résistance interposée de 5 ohms. .	0,423 ampère
— — 10 — . .	0,220 —

Elle est donc restée sensiblement constante dans les deux cas, malgré la différence de débit.

Si le circuit est fermé aussitôt après la constitution de l'élément, la résistance est d'abord plus grande et, par suite, l'intensité moindre.

Le régime régulier s'établit à peu près une heure plus tard, quand les diaphragmes sont suffisamment imprégnés. On obtient de suite le régime définitif si l'on ferme le circuit seulement après que les diaphragmes sont imprégnés.

C'est la substitution de la solution alcaline à l'eau acidulée baignant le zinc dans la pile de Poggendorff qui élève la force motrice de 2,1 volts à 2,5 volts. En effet, la même substitution, faite dans la pile de Bunsen, donne 2,25 volts au lieu de 1,85 volt, c'est-à-dire le même accroissement 0,4 volt.

Mais, si l'on se borne à ce seul changement, l'avantage devient bientôt illusoire, à cause de l'augmentation rapide de la résistance. La soude se change en chromate neutre, et l'on trouve sur le zinc et autour de lui un abondant dépôt d'hydrate d'oxyde de zinc. Ces actions, dues à la modification des liquides, l'un par l'autre, à travers les pores du diaphragme, sont considérablement ralenties, et leur effet atténué, par l'interposition du liquide alcalin faible contenu entre les deux diaphragmes. Cette addition n'augmente pas beaucoup la résistance, et elle offre l'avantage d'assurer une constance presque absolue, surtout si l'on renouvelle partiellement de

temps en temps la soude, faible intermédiaire. Ce renouvellement s'impose, du reste, car on voit bientôt le niveau baisser entre les deux diaphragmes. On obtient un bon résultat en retirant avec une pipette, de trois heures en trois heures environ, un peu de ce liquide intermédiaire qui s'est coloré, et en rétablissant le niveau au moyen de soude faible neuve; j'employais 40 centimètres cubes pour chaque renouvellement.

L'emploi de la potasse, au lieu de soude, n'offre aucun avantage, non plus que l'emploi du bichromate de soude au lieu de bichromate de potasse dans le liquide dépolarisant.

J'ai constaté que le zinc est beaucoup moins attaqué que dans l'élément de Poggendorff et tous ceux où ce métal baigne dans l'eau acidulée. Ici la dépense de zinc est, en partie, remplacée par la dépense de soude. S'il y avait dépense de zinc égale, on devrait avoir une force électromotrice (de 3,1 volts; en effet, un couple normal, dont le zinc est remplacé par un charbon et où les liquides agissent seuls, donne 1 volt au début.

Après une dizaine d'heures d'action continue, on trouve le zinc couvert d'un enduit gris. On peut lui rendre son poli et ses qualités du début en le retirant de la pile et le plongeant, quelques instants seulement, dans de l'eau acidulée, qui dissout rapidement l'enduit. L'élément reconstitué, même sans qu'on ait changé ou renouvelé partiellement les liquides, reprend alors sa marche presque comme au début. On voit ainsi que les liquides pourraient servir encore longtemps.

Enfin, j'ai remarqué que, si la pile doit fonctionner seulement pendant deux ou trois heures, pour des expériences de démonstration, par exemple, on peut se dispenser d'amalgamer le zinc.

(*Comptes rendus*, 29 juillet 1895).

Conducteurs en aluminium.

L'aluminium est-il appelé à se substituer un jour au cuivre comme conducteur électrique, sinon dans les appareils, du moins dans les lignes aériennes? Une semblable question, posée il y a une quinzaine d'années, eût fait sourire, alors

que l'aluminium valait 125 francs le kilogramme. Aujourd'hui il vaut près de vingt fois moins, et, dans certains cas spéciaux, l'aluminium peut déjà lutter avantageusement avec son rival, et nous pouvons citer deux applications, l'une datant de quelques mois, pour un service télégraphique, l'autre plus récente, pour un transport d'énergie électrique à distance.

Télégraphie. — M. Charpentier-Page a fait quelques expériences sur les fils d'aluminium destinés à la mission Monteil. Ces fils étaient constitués par un alliage léger d'aluminium à 6 p. 100 de cuivre, dont la densité atteignait 2,95. Il a obtenu les résultats suivants : La résistance électrique, par millimètre carré et kilomètre de longueur, était de 31,1 pour les fils recuits mous, et de 33,29 ohms pour les fils durs. La résistance des fils de cuivre de mêmes dimensions est de 16,45 ohms. La résistance à la traction de fils ayant un diamètre de $2^{mm},3$, et pris dans diverses bottes sur un lot de 1,000 kilomètres, était en moyenne de 28 kilogrammes par millimètre carré. La résistance la plus forte a été trouvée égale à $34^{kg},2$ et la plus faible atteignait encore $25^{kg},3$ par millimètre carré. Ces fils subissaient au moins 4 pliages à angle droit sans casser.

Transport d'énergie. — M. E.-C. Grammont établit actuellement une ligne aérienne en aluminium pour une transmission d'énergie électrique destinée à relier ses deux usines de la Plaine et de Pont-de-Chérui (Isère). Pour éviter les jonctions, M. Grammont a soudé avec succès au chalumeau les fils bout à bout. C'est la Société électrométallurgique française qui a fourni le métal destiné à cette ligne.

Ces deux applications que nous fait connaître le *Moniteur industriel* présentent, la dernière surtout, un réel intérêt au point de vue des débouchés de l'aluminium, et nous en suivrons soigneusement les résultats.

(Extrait de l'*Industrie électrique*).

L'Éditeur-Gérant : Vve Ch. Dunod et P. Vicq.

IMPRIMERIE E. FLAMMARION, 26, RUE RACINE, PARIS.

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1895 Septembre-Octobre

LIGNES SUR APPUIS MÉTALLIQUES

EN EXTRÊME-ORIENT

L'établissement et l'entretien des lignes télégraphiques dans certaines de nos colonies, n'est pas sans présenter des difficultés, souvent très grandes, qui sont de nature à mettre à contribution les facultés inventives des fonctionnaires chargés de cette mission.

Ne demander à la métropole que les objets indispensables et d'usage courant, utiliser les ressources locales ou celles faciles à se procurer, éviter les transports encombrants, simplifier les détails, surtout pour employer les ouvriers indigènes, tel est le but que le constructeur poursuit.

D'autre part, il faut, sous peine de voir son travail détruit par la routine ou la malveillance, éviter de heurter les habitudes et les mœurs, n'imposer, autant que possible, aux habitants, lors de l'exécution, aucune gêne, aucune contrainte oppressive.

Un exemple des résultats auxquels on peut arriver, est donné par le réseau français de l'Indo-Chine, réseau considérable qui, pour nos possessions ou protectorats de Cochinchine, du Cambodge, du Tonkin et de l'Annam, dépasse actuellement 6.000 kilomètres de lignes avec plus de 20.000 kilomètres de conducteurs.

Dans l'exposé qui va suivre, nous allons examiner comment ont été construites les lignes dans notre colonie asiatique. Nous verrons d'abord employer les procédés européens, puis, en présence des mécomptes que devaient forcément amener des conditions naturelles différentes, nous constaterons la transformation du premier système en un autre plus simple, complet par lui-même et qui, mieux approprié aux conditions dans lesquelles il se trouve, remplit d'une façon plus satisfaisante le but que l'on s'était proposé.

Jusqu'en 1881, les appuis servant à porter les conducteurs étaient des poteaux en bois durs, tirés exclusivement des forêts indigènes et utilisés sans avoir subi aucune préparation.

A cette époque, l'exploitation forestière se faisant sans mesure menaçait de tarir une ressource précieuse.

Fallait-il laisser employer pour la confection d'appuis, des arbres susceptibles d'un meilleur usage comme bois de charpente ou d'ébénisterie?

Le gouvernement ne le pensa pas. En présence du déboisement incessant, il édicta une réglementation protectrice qui devint, en réalité, prohibitive pour le service.

Dès lors, on dut employer de mauvaises essences n'ayant aucune des qualités nécessaires et sur les-

quelles l'injection essayée dans l'espoir qu'elle prolongerait leur durée, ne donna aucun résultat satisfaisant.

En 1882, la situation était, à ce point, devenue critique que l'on songea un instant à faire venir de France les bois nécessaires. Et pourtant ce moyen extrême n'aurait fourni qu'un remède bien insuffisant aux multiples causes de destruction qui menaçaient les appuis.

Soumis dans la saison des pluies à une immersion continue qui les pourrissait rapidement, à des orages d'une violence extrême qui les jetaient à terre par dizaines, les poteaux, quand venait la saison sèche, étaient détruits par les termites ou dévorés par les incendies.

M. Lourme, Directeur des Postes et des Télégraphes de Cochinchine, résume en peu de mots le caractère de cette lutte : « Dans ces pays de végétation exubérante, tout conspire contre la survie de nos bois morts. »

Ce qu'il fallait, c'était trouver des appuis solides, faciles à monter, peu encombrants et capables de résister à la pourriture, au feu, à la foudre, à toutes les causes qui, jusqu'alors, avaient compromis les communications.

Les poteaux métalliques se présentaient de suite à l'esprit, mais les différents essais (*), tentés en France jusqu'à cette époque, n'avaient pas donné de résultats concluants. Les difficultés de plantation et de consolidation empêchèrent de généraliser les expériences, et ce ne fut que dans les cas exceptionnels et pour des

(*) V. *Annales télégraphiques*, t. II, 1875, p. 5.

besoins spéciaux que la métropole employa, et emploie encore, des appuis en fer d'ailleurs coûteux et compliqués.

Cependant, quelques tentatives avaient déjà été faites avec des fers de profils simples nécessitant peu ou pas de montage. Vers 1875, M. Oppermann proposa le fer à simple T; il fixait les isolateurs à des barres transversales boulonnées sur le plat du fer.

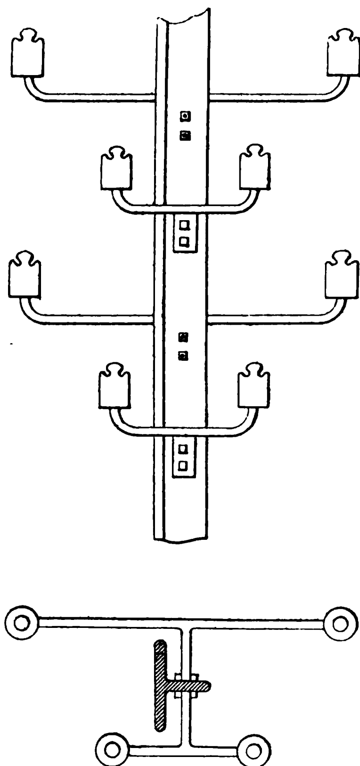


Fig. 1. — Poteau De la Taille.

Plus tard, M. De la Taille, Directeur-Ingénieur des Télégraphes à Orléans, employa aussi (**) le fer à T pour la construction de certaines lignes dans sa circonscription (*fig.* 1).

C'est en s'inspirant de ces travaux, que M. Lourme conçut et réalisa les premières lignes à poteaux métalliques qui furent établies en Cochinchine.

Il pensa, puisque les appuis en fer devenaient nécessaires, qu'il était indispensable d'employer un fer de profil courant,

(**) V. *Annales télégraphiques*, t. II, 1875, p, 327.

facile à se procurer et susceptible de se plier aux diverses exigences qu'impose la construction sans demander une main-d'œuvre coûteuse et surtout sans exiger le concours d'ouvriers spéciaux dont l'emploi, en pareil cas, est très onéreux.

Après différents essais, M. Lourme adopta le fer à simple T qui joint à une solidité suffisante un poids minimum et offre de plus l'avantage de permettre la pose directe des consoles dans deux plans rectangulaires.

Ce fut, pour ainsi dire, l'âme du système et, comme nous le verrons par la suite, quels que soient les cas qui se sont présentés, ils ont toujours reçu une solution pratique et simple, reposant sur l'emploi exclusif du fer à T comme partie essentielle de la construction.

Cette unification du matériel devait encore avoir pour conséquence de faciliter le travail. Aussi, avec quelques sous-agents connaissant le fer, et, grâce à la remarquable facilité d'assimilation des indigènes, est-on parvenu à former des équipes capables non seulement d'établir des lignes courantes, mais encore de construire des pylônes ayant jusqu'à 60 mètres de hauteur.

Dans les colonies voisines du Tonkin et de l'Annam, la création du réseau télégraphique passa par des phases semblables. Construit d'abord avec des appuis en bois et souvent remanié pendant la période des hostilités, il mit le constructeur aux prises avec les mêmes difficultés lorsqu'il fallut installer les lignes définitives.

Les bons résultats obtenus en Cochinchine par l'usage des poteaux métalliques devaient amener l'Administration à utiliser ce genre d'appuis. Il y eut ce-

pendant au début une différence dans le modèle du fer employé, et les premières lignes furent constituées avec des fers à double T scellés dans des socles en béton.

Ces appuis, très solides lorsque la traction s'exerce dans le sens de la nervure, fléchissent sous un faible effort lorsque celui-ci se produit dans le sens transversal.

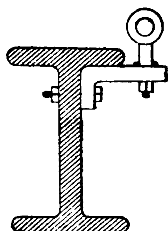


Fig. 2.

On fut d'ailleurs obligé d'employer pour l'armement une équerre en fer boulonnée sur la nervure, ladite équerre supportant la console (*fig.* 2); la pose des jambes de force était très difficile, il fallait ou couper les ailes du fer ou employer une pièce accessoire.

On ne tarda pas à reconnaître ces divers inconvénients; les poteaux utilisés en Cochinchine étaient plus simples et donnaient toute satisfaction, la direction du Tonkin adopta à son tour le fer à simple T, et depuis lors la construction se poursuit exclusivement avec ce nouveau matériel.

Les poteaux employés en ligne courante sont simples, haubannés, jumelés à 1 mètre du sommet, jumelés en tête. Pour les cas spéciaux, on emploie des appuis établis suivant les exigences à satisfaire, mais toujours constitués par des fers à T assemblés et entretoisés.

La distance moyenne entre appuis est de 75 mètres; dans les courbes, elle se trouve réduite à 60 mètres et même moins.

En Cochinchine, l'appui normal régulier est de 5 mètres; il est de 6 mètres au Tonkin.

Cet appui est constitué par un fer de 100/60/8 pesant 10kg,300 le mètre courant. S'il doit être soumis à un effort de flexion un peu grand, on prend, suivant le cas, des fers de profils plus forts (*fig.* 3).

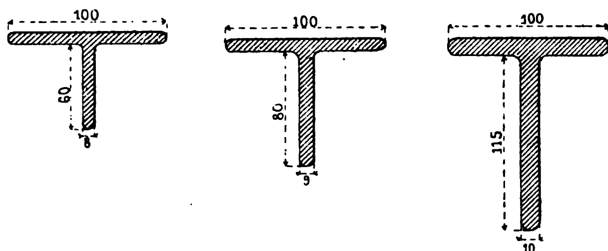


Fig. 3. — Profils des fers à T les plus employés.

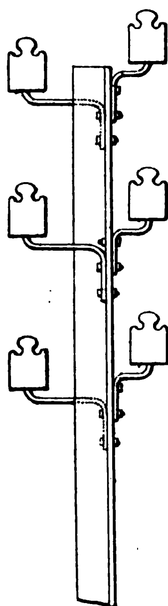
L'armement est fait pour six fils ayant un écartement vertical de 40 centimètres. Excepté, dans certains cas spéciaux de construction dont nous parlerons plus loin, les consoles sont placées sur la barre du T, alternativement d'un côté et de l'autre de la nervure (*fig.* 4, 5, 6). On les fixe par les boulons, passant dans des trous percés à l'avance.

Pour donner une idée de la rapidité de ce travail, on estime que six indigènes peuvent préparer une centaine de poteaux par jour.

Comme on le voit sur la figure 4 qui donne le détail d'une tête de poteau l'armement est uniforme pour chacune des rangées horizontales, mais il n'est pas alternatif dans le sens que l'on donne d'habitude à ce mot, c'est-à-dire que du même côté d'un plateau, la console courte ne se trouve pas placée entre deux consoles longues. Nous allons voir immédiatement pourquoi cette façon d'opérer, assez désavantageuse, a dû être employée.

Lorsqu'un isolateur à double cloche est scellé sur la

console courte en S du modèle de l'administration, la distance entre le plan sur lequel on la fixe et la paroi extérieure de l'isolateur, n'est que de 45 millimètres. Il n'est donc pas possible de placer ces consoles à l'intérieur du T, puisque la nervure du fer a au moins 60 millimètres; on se trouve, par suite, obligé de les mettre toutes à l'extérieur et de renoncer à l'armement alternatif.



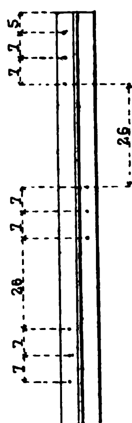


Fig. 4. — Poteau Loume. Détail de l'armement.

Avec l'armement ainsi modifié, il serait dangereux d'employer les consoles longues ordinaires; le fil pesant à l'extrémité d'un pareil bras de levier ferait fléchir l'appui.

C'est pour éviter ce grave inconvénient que l'on a fait fabriquer une console longue d'un modèle spécial, n'ayant que 21 centimètres de longueur et donnant entre les conducteurs d'une même nappe horizontale, un écartement de 30 centimètres.

D'ailleurs, on ne met pas exactement les deux consoles à la même hauteur; le trou supérieur de l'une est en face du trou inférieur de la console opposée et un même boulon les traverse. Cette disposition de l'armement est générale; on n'y renonce que sur les

appuis pour fils téléphoniques déstinés à porter un grand nombre de conducteurs.

Les difficultés de plantation des poteaux en fer à profil simple avaient été, en France, la principale pierre d'achoppement à l'extension des lignes métalliques. Sous l'influence de la nécessité, cette question a été reprise et résolue de la façon suivante par M. le Directeur des Télégraphes de Cochinchine.

La barre, constituant l'appui est scellée dans un socle, fait sur place, dont la fabrication et l'usage méritent une mention toute spéciale.

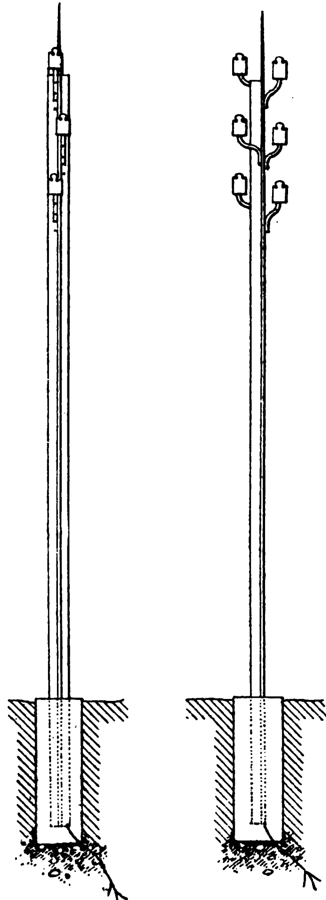
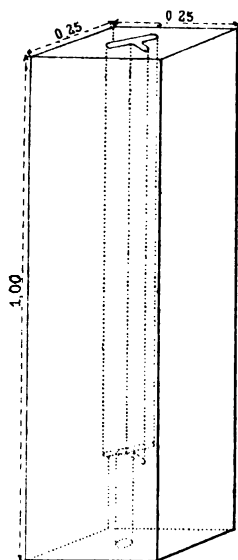


Fig. 5 et 6. — Poteau de 6 mètres.

A l'intérieur d'un moule ayant la forme d'un parallélipipède à base carrée de 1 mètre de haut et 0^m,25 de côté, on coule un béton composé d'une partie de brique concassée ou de cailloutis, une partie de ciment et deux parties de sable. Dans l'axe du solide, et suivant un plan diagonal, on met un noyau ayant la forme et des dimensions un peu su-

périeures au profil du fer qui se placera dans le socle.

Ce noyau a $0^m,80$ de hauteur; il est prolongé par une tige cylindrique qui vient sortir à la base inférieure du moule et permet de placer le noyau dans la position convenable.



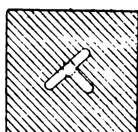


Fig. 7. — Socle en béton (Cochinchine).

La cavité laissée au démoulage par la tige sert à faire passer le fil de cuivre mettant en communication le poteau et le sol (*fig.* 7).

Le bloc ainsi fabriqué pèse 90 kilogrammes, mais le poids qu'il a fallu transporter pour l'établir s'est trouvé réduit aux quelques kilogrammes de ciment nécessaires ; combinaison heureuse, qui permet un travail régulier malgré l'absence de routes et avec des moyens d'action limités.

Au Tonkin, les blocs sont achetés au commerce à raison de $3^f,50$ l'un; ils sont semblables comme dimensions et comme forme aux précédents, sauf que le plat du fer au lieu d'être dans la diagonale du prisme est parallèle à une des faces (*fig.* 8). Cette disposition semble, *a priori*, moins avantageuse, quant à la solidité; d'autre part, le transport d'un certain nombre de ces masses est pénible et les risques de destruction en sont d'autant augmentés.

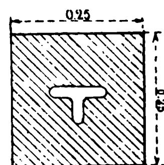


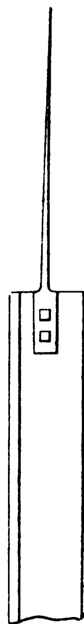
Fig. 8. — Socle en béton (Tonkin).

Pour effectuer le scellement, on fait glisser du sable

sec entre le fer et son alvéole; on le tasse fortement, puis on fait un joint au ciment à la partie supérieure sur quelques centimètres. La fermeture ainsi faite suffit à assurer une étanchéité complète, et permet, le cas échéant, de desceller la barre sans sacrifier le socle.

Dans un pays où les changements de tracé sont fréquemment imposés, soit par la création ou la suppression de centres administratifs ou militaires, soit par l'établissement ou l'abandon des routes, cette dernière considération n'est pas sans valeur.

Il va sans dire que le bloc de béton est enfoncé en terre jusqu'au niveau du sol, et on remarquera que la solidité de plantation est due autant à la grande surface en prise qu'au poids du bloc lui-même.



Tous les appuis métalliques sont protégés contre les décharges atmosphériques par un paratonnerre, composé d'une simple tige en fer dépassant de 50 centimètres le dernier isolateur.

Le procédé employé pour le fixer, est simple et donne toute sécurité. La partie inférieure de la tige est repliée sur elle-même, de façon à laisser un intervalle de 15 millimètres entre les deux branches de l'U ainsi formé; puis, on serre cette fourche entre la patte de la console et le poteau. La *fig.* 9, représente le paratonnerre



Fig. 9.

Fig. 10.

mis en place, et alors qu'il ne reste plus qu'à le serrer sous la patte de la console.

Autrefois, le paratonnerre était rivé directement sur la nervure du fer à T; c'était toujours un point faible; de plus, les indigènes, attribuant sans doute des propriétés magiques à cet objet, tâchaient de s'en emparer et y réussissaient souvent.

Aujourd'hui, on trouve encore des tiges tordues que l'on a essayé d'enlever, mais en somme, il est rare que le voleur aille jusqu'à dévisser la console.

Au Tonkin, le système adopté est aussi très solide, mais un peu plus compliqué. Le paratonnerre est fixé au moyen de boulons, passés dans des trous *ad hoc*, percés sur la tige du fer à T (*fig.* 10).

Ainsi garantis, et lorsque l'installation du fil de terre est bien faite, les coups de foudre sur les poteaux sont inoffensifs ou les dégâts insignifiants. Quelquefois cependant, peut-être par suite d'une mauvaise communication entre la tige et l'appui, la foudre frappe un des isolateurs : le dérangement qui se produit alors est toujours le même; la partie supérieure de la pièce de porcelaine s'enlève, mais le fil soutenu par les oreilles de la cloche reste maintenu, et, grâce à la toile de scellement, il n'y a pas une trop grande dérivation.

Nous venons de voir la composition, le montage, l'armement du poteau ordinaire type à 6 fils. Dans le cas où un plus grand nombre de conducteurs doivent être posés, on emploie des profils de fer plus forts.

Ainsi, en Cochinchine, le poteau de 6 mètres destiné à recevoir quatorze conducteurs, formant sept rangées à $0^{m},45$ l'une de l'autre, est constitué par un fer à T

de 100/80/9, pesant 13 kilogrammes le mètre courant et, dans les cas exceptionnels, par un fer de 100/115/10, pesant 16 kilogrammes le mètre. Ce dernier type est employé spécialement pour les poteaux d'exhaussement de 8 mètres à la traversée des routes.

La portée normale dans une ligne ainsi construite est de 60 mètres, mais dans les courbes, on la réduit à 50. Les socles en béton servant de base ont $1^m,20$ de hauteur et $0^m,30$ de largeur.

En raison du grand nombre de conducteurs placés sur ces appuis, il n'est plus possible de mettre du même côté tous les isolateurs à console longue; l'emploi de la console spéciale aurait d'ailleurs donné un écartement trop faible des fils. On est donc revenu à la disposition alternative, mais il a fallu tourner d'une autre façon la grosse difficulté qui avait nécessité un armement irrégulier du poteau à 6 fils.

Étant donné le petit nombre d'appuis de cette nature, on n'a pas voulu commander des consoles courtes spéciales ; d'autre part, la solution qui consiste à faire les assemblages de plusieurs pièces n'est jamais à recommander. Le moyen qui a été adopté augmente le travail, mais évite ces inconvénients : la patte de la console est tordue de 90°, de manière à pouvoir être fixée, à la distance convenable, sur la partie du poteau non utilisée par les consoles longues (*fig.* 11).

Il nous reste à parler maintenant des appuis spéciaux, c'est-à-dire de ceux qui établis pour parer à une nécessité de construction, ne sont pas entièrement conformes aux poteaux types que nous venons de décrire.

En premier lieu, nous signalerons les *poteaux entés* (*fig.* 12), employés comme poteaux d'exhaussement pour la traversée des petits arroyos.

On scelle alors dans l'embase en béton, un fer à double T dépassant le sol d'une hauteur suffisante. Sur l'âme, on boulonne, avec un chevauchement de 1^m,50, une barre en T ordinaire de 8 mètres. Des haubans

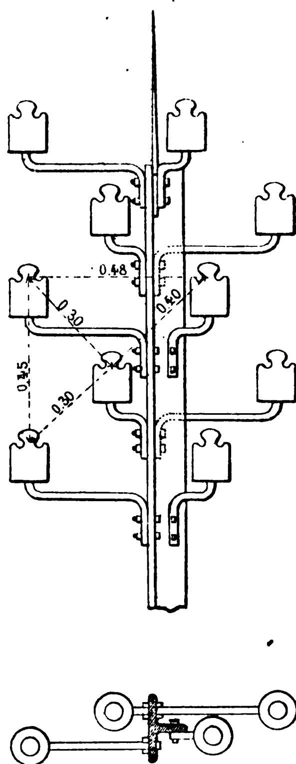


Fig. 11.

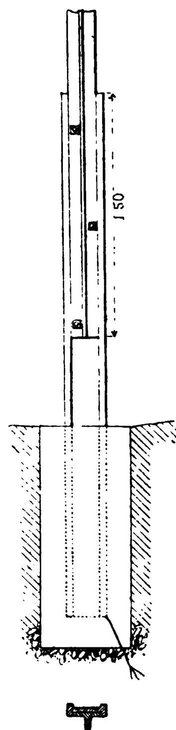


Fig 12. — Poteau enté.

consolident l'ensemble et empêchent la flexion de la partie supérieure. C'est un système simple, qui, tout en évitant le transport d'un appui trop lourd, écarte l'emploi d'un type de fer de dimensions exagérées ne se trouvant pas couramment dans le commerce.

Dans les angles, la consolidation des appuis métalliques se fait, suivant le cas, avec des haubans ou des jambes de forces. C'est le premier système qui est surtout employé, car le matériel à utiliser étant beaucoup moins lourd est plus facile à transporter sur le chantier. Il a en outre l'avantage de ne pas apporter de modifications à l'armement régulier.

Ici se place une remarque importante. Nous avons vu que les fers employés pour la confection des appuis étaient des barres ayant, suivant leur hauteur ou le nombre des fils supportés, des dimensions de 100 millimètres sur le plat et 60 ou 80 millimètres sur la nervure.

Or, on sait que toutes choses égales, la résistance à la flexion d'une telle barre est proportionnelle au cube de la dimension sur laquelle vient s'appliquer la force (*); il est par suite tout indiqué de choisir le plat du fer à T pour résister à l'effort de renversement occasionné par le tirage.

D'ailleurs, comme cette partie du profil offre une surface plus grande que la nervure, il sera plus facile d'y fixer les pièces servant à la consolidation.

Ces raisons nous amènent à changer la position

(*) La formule donnant la résistance à la flexion d'une poutre encastrée est :

$$S = K \frac{PL^3}{BE^3},$$

dans laquelle :

K, est un coefficient dépendant de la nature de la poutre;
P, est la force de flexion;
L, la longueur à partir du point d'encastrement;
BE, les deux dimensions de la base.

Il en résulte que, pour une longueur donnée, la flexion est inversement proportionnelle au cube de l'épaisseur.

ordinaire des consoles sur l'appui : au lieu de les mettre

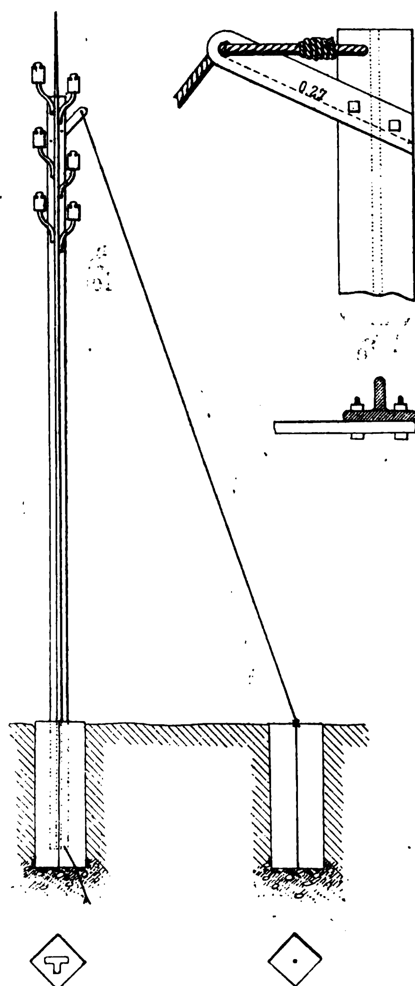


Fig. 13. — Poteau haubanné et détail de la potence.

sur le plat du fer, ce qui est la meilleure position pour les parties droites, nous placerons dans les angles, les

consoles sur la nervure, faisant ainsi toujours porter sur la section de plus grande résistance le plus grand effort.

Lorsqu'un poteau doit être haubanné, on commence par boulonner sur la barre du fer à T une bande de fer plat de 0^m,27 de longueur et d'une épaisseur appropriée à la traction qu'elle doit subir. Cette potence fait avec la verticale, un angle aigu dont le sommet est du côté du sol. Un trou percé à son extrémité sert à faire passer le câble de retenue (*fig.* 13).

Ce câble, constitué par un cordage en fils de fer, est d'abord solidement fixé au poteau puis à la potence; il va ensuite s'attacher à une pièce de fer scellée dans un bloc de béton.

Ici encore, la solution est très ingénieuse : la potence éloigne le hauban des isolateurs, ce qui, nous l'avons dit, permet de ne rien changer à l'armement; la force résistante est bien appliquée à l'endroit voulu, et, comme elle s'exerce sur un bras de levier, elle réagit plus énergiquement, pour empêcher la rotation de l'appui autour de son point d'encastrement.

Pour les poteaux consolidés par des jambes de force, il y a deux dispositions. Dans l'une, qui convient seulement pour les petits tirages, le poteau de soutien vient se fixer au-dessous du dernier rang des isolateurs (*fig.* 14).

On voit que ce moyen de consolidation est assez désavantageux, car la résistance ne venant pas s'appliquer à la résultante des tractions, la partie supérieure peut s'incliner; par contre, l'armement reste régulier.

Une meilleure solution est donnée dans le deuxième système. La jambe de force est bien appliquée au point

utile, mais on est obligé de mettre une série d'isola-

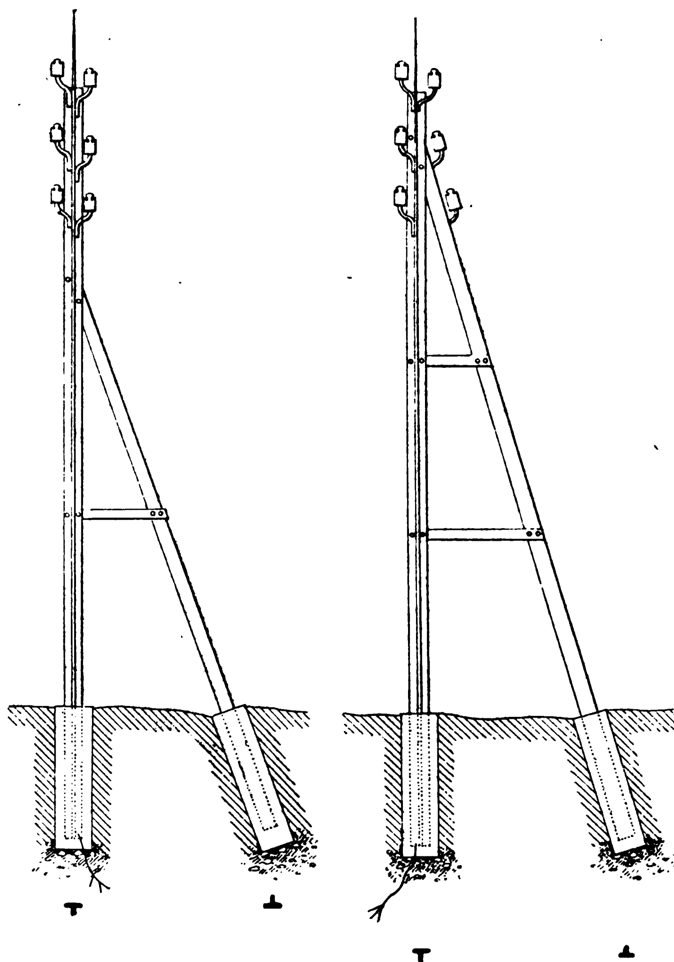


Fig. 14. Fig. 15.
Poteaux d'angle.

teurs sur cet appui (*fig.* 15), ce qui peut présenter des inconvénients.

Les poteaux de coupure sont d'une construction spéciale, permettant de mettre la boîte des coupures sur l'appui même.

Leur disposition générale peut être représentée

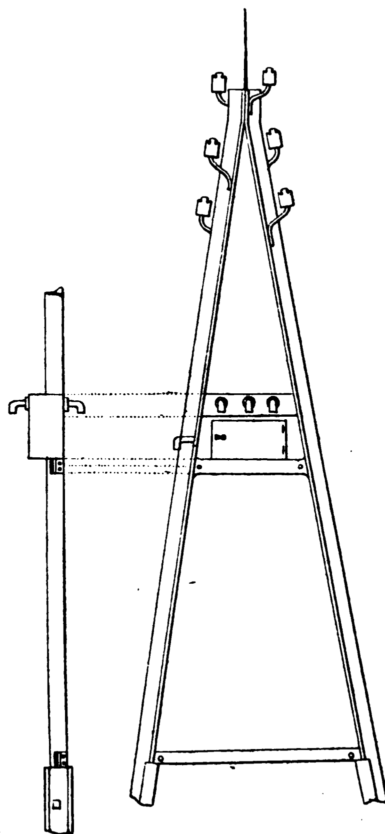


Fig. 16. — Poteau de coupures.

schématiquement par la lettre majuscule A (*fig.* 16); la boîte se trouve sur la traverse; les jambages sont constitués par deux fers à T, réunis plat sur plat au

sommet, et entés à leur base sur des fers double T, suivant le système déjà indiqué. Les consoles sont placées sur le plat du fer, perpendiculairement à la direction des fils.

Pour les raisons que nous avons déjà énumérées, on n'utilise que des consoles longues spéciales.

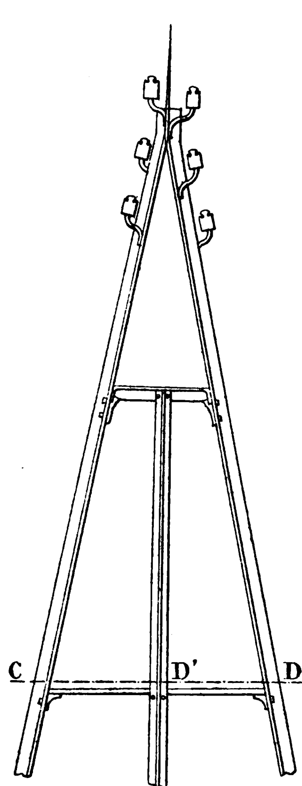
Les fils, venant des isolateurs, entrent dans la boîte par un tube coudé, en porcelaine et viennent aboutir à des bornes à contre-écrou. Une lamelle de cuivre, pincée sous les vis, donne la communication directe, celle-ci pouvant être au besoin remplacée par une communication avec la ligne du bureau relié à la boîte.

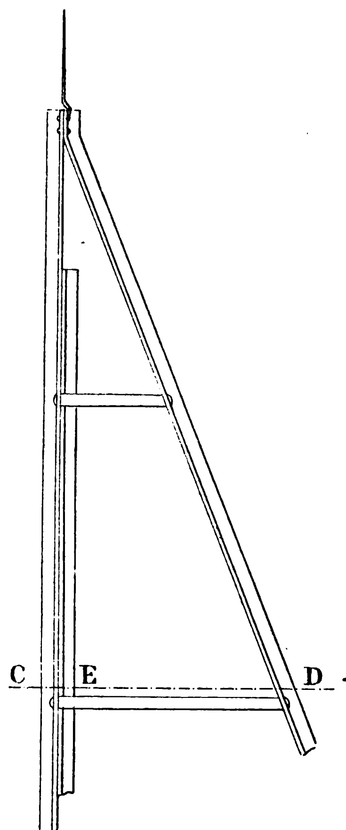
.Les poteaux qui, par suite de leur position, doivent être soumis à des tractions considérables exercées dans des sens différents, sont constitués par des pyramides triangulaires ou quadrangulaires.

Dans l'un et l'autre cas, il y a une jambe de force qui vient s'appliquer au sommet du pied droit et qui reçoit des isolateurs. Des entretoises de réunion, formées de barres de fer plat, maintiennent tout l'ensemble et assurent une bonne liaison invariable (*fig.* 17 et 18).

Nous terminerons cette énumération des appuis spéciaux, par la description d'un poteau de 6 mètres destiné à supporter 16 fils téléphoniques. La partie principale se compose comme toujours d'une barre de fer à T; sur la barre, et de chaque côté de la nervure, on a monté deux cadres, formés chacun par un fer plat replié deux fois à angle droit. C'est sur ces appendices, que l'on fixe les consoles courtes supportant les isolateurs; on n'emploie pas les consoles longues, afin de ne pas surcharger les cadres.

Si le poteau est au sommet d'un angle et qu'il y ait lieu de le soutenir, les consoles haut et bas du cadre





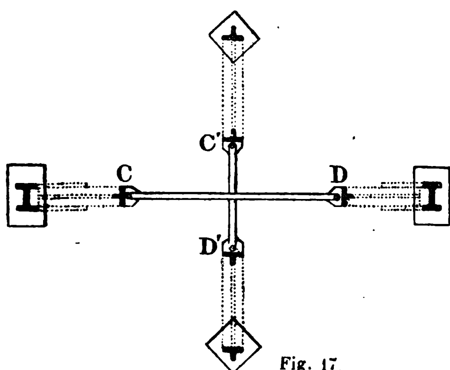


Fig. 17.

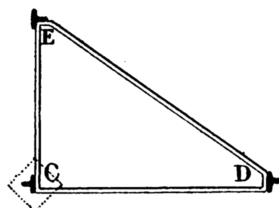


Fig. 18.

placées à l'opposé du tirage sont différentes. Elles portent en prolongement de leur partie horizontale, une tige percée d'un trou, dans lequel vient passer le hauban mis comme nous l'avons déjà indiqué (*fig.* 19).

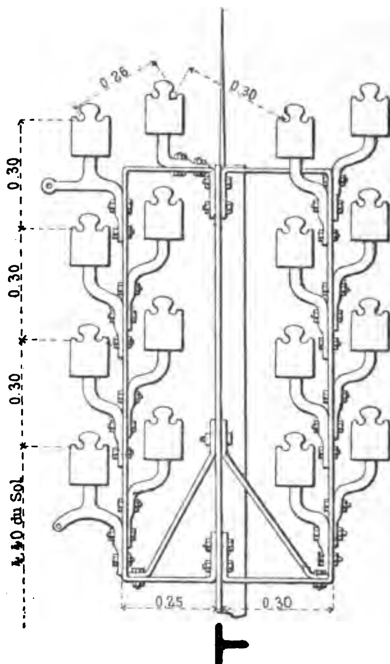


Fig. 19.

La distance verticale entre les fils voisins est de 30 centimètres et la distance horizontale de 26 centimètres.

Le prix de revient d'un kilomètre d'appuis, en fer, posés et prêts à recevoir les fils (*) est de 295 francs et se décompose comme suit :

(*) D'après le rapport de M. Brou, directeur des télégraphes du Tonkin et de l'Annam.

14 poteaux de 6 mètres à 64 kilog., soit 896 kilog. à 0f,18.	161f,00
3 équerres pour haubans à 0f,25	0 ,75
17 blocs en ciment à 4 francs	68 ,00
14 paratonnerres	5 ,60
Main-d'œuvre	60 ,00
Total	295f,35

Une ligne en bois construite dans les mêmes conditions coûterait 114 francs soit :

14 poteaux à 3f,30	46f,20
3 jambes de forces à 3f,30	9 ,90
3 entretoises à 2f,60	7, 80
Main-d'œuvre	50 ,10
Total	114f,00

La différence est à première vue considérable; mais si l'on compare les dépenses d'entretien des lignes en bois qui sont évaluées à 32 francs par kilomètre et par an, avec l'entretien des lignes en fer qui se borne à un coaltarage des appuis tous les deux ans, soit, en y comprenant la main-d'œuvre, 3 francs à peine par kilomètre et par an, on arrive à ce résultat que le prix d'une ligne en bois aura, au bout de sept ans, atteint et même dépassé le prix d'une ligne en fer, tout en continuant à exiger un entretien dix fois plus onéreux que cette dernière.

Ces considérations montrent l'avantage au point de vue économique que présentent les constructions en fer dans les colonies, surtout si, à côté de l'avantage pécuniaire, on ajoute la sécurité obtenue par l'emploi de ce matériel.

Notre étude sur les lignes de l'Indo Chine serait incomplète, si nous ne disions quelques mots des pylônes ou appuis mâtés d'un usage général pour la

traversée des rivières, assemblages métalliques tout à la fois simples et hardis.

Les nombreux cours d'eau de Cochinchine et du Tonkin sont en majeure partie navigables et très fréquentés par des bateaux de pêche, des chaloupes, des jonques, dont la mâture dépasse parfois 20 mètres. Il semblait, dans ces conditions, que la seule solution possible était l'emploi des câbles fluviaux, et c'est, en effet, ainsi que furent effectuées les premières traversées.

Mais, là encore, des difficultés sérieuses devaient modifier les premières prévisions. Ces câbles transportés dans l'intérieur étaient, pendant le voyage, soumis à l'action des températures élevées qui règnent dans le pays.

Les conducteurs se décentraient, et, dès la pose, on constatait des défauts graves. Plus tard, par suite du changements des lits des fleuves ou des dépôts considérables accumulés sur les câbles, il fut presque impossible de les relever et de les réparer.

Les déceptions, éprouvées par suite de l'emploi de ce matériel, furent si grandes qu'on l'a abandonné presque complètement, et il faut maintenant se trouver en présence de traversées exceptionnelles, pour que l'on immerge les conducteurs.

En Cochinchine, les appuis mâtés servant à supporter les grandes portées sont des pylônes ayant de 23 à 60 mètres de hauteur; leur construction est uniforme au moins dans ses grandes lignes.

Quatre fers à double T, profondément scellés dans des blocs en béton, servent d'amorce à une pyramide à base carrée, formant la partie résistante de l'appui.

Les arêtes de la pyramide sont constituées par des

barres de fer à T, ayant toutes uniformément 8 mètres de longueur et des profils de 100/115, 100/80, 100/60, suivant la hauteur à laquelle on les place.

La réunion de ces montants, qui constituent la carcasse du pylône, est faite par des croisillons et étresillons boulonnés de mètre en mètre sur des onglets de fonte lorsqu'ils sont en fer plat ou en fer cornière, et passant, au contraire, à travers des trous spéciaux, percés dans les barres métalliques lorsqu'ils sont en cordage de fils de fer.

Au sommet de la pyramide, on fixe une flèche formée par deux fers à T, rivés plat sur plat; des marchepieds, placés alternativement d'un côté et de l'autre, permettent d'accéder jusqu'aux isolateurs et au paratonnerre à plusieurs pointes qui terminent la flèche (*fig*. 20).

De solides haubans, partant de différents points du pylône, le consolident et s'opposent à sa chute sous la poussée du vent (*fig*. 21).

Fig. 20.
Flèche d'un pylône

Pour éviter les mouvements de rotation auxquels l'appui pourrait être sujet, et que les haubans de consolidation seraient impuissants à empêcher, on a établi, au-dessous de la flèche, une hune constituée par des barres de fer dont la réunion forme une croix à bras très allongés (*fig*. 22).

Des extrémités de chaque bras partent deux câbles qui descendant obliquement l'un à droite, l'autre à gauche, viennent se fixer au sol dans un plan perpendiculaire au plan vertical de la branche considérée.

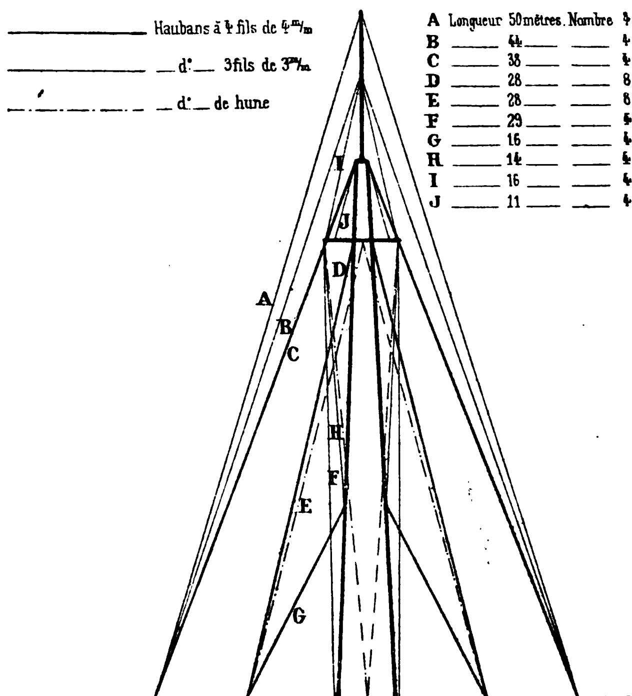


Fig. 21. — Ensemble des haubans.

La *fig.* 23 montre la projection de la hune et le point d'attache des haubans. Il est facile de voir que chaque traverse de la croix est soumise à deux couples contraires qui s'annulent lorsque les forces sont égales. Cette égalité nécessitant des composantes horizontales de même grandeur n'existera que si les hau-

bans ont la même tension, puisque les points d'at-

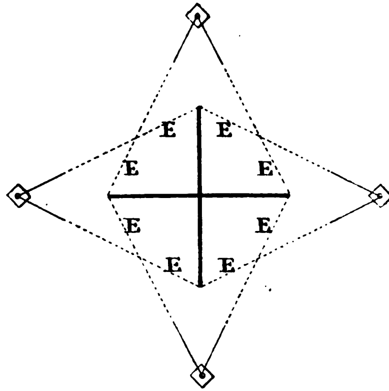


Fig. 23. — Projection horizontale de la hune et des haubans.

tache sont communs.

Supposons maintenant que, sous l'action d'une force, il se produise un léger déplacement du poteau autour de son axe ; ce mouvement sera très amplifié par les bras de la croix.

Mais alors le moment de deux des couples résistants augmente, car les câbles subissant une traction plus grande réagissent énergiquement et par suite donnent des composantes plus fortes. Par contre, et pour les raisons inverses, les moments des deux autres couples diminuent de valeur; un nouvel équilibre s'é-

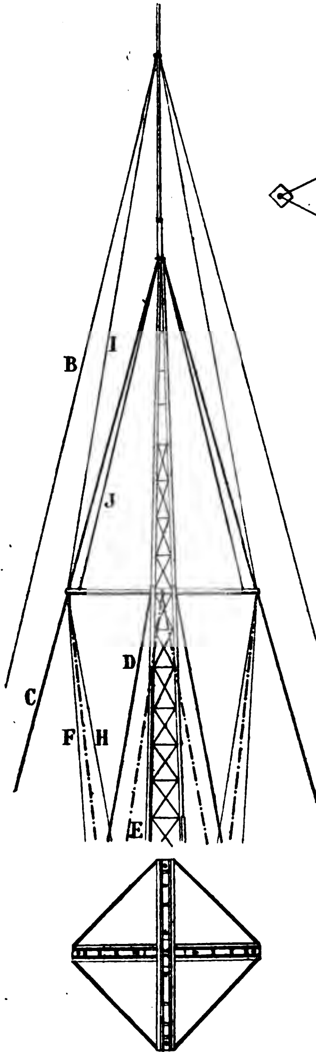


Fig. 22.

tablit pour cette hypothèse, et si la force de torsion vient ensuite à disparaître, il se produit une contre-rotation qui ramène l'appui dans sa position primitive.

Il suffit donc, pour limiter l'amplitude de ces déplacements, de disposer les choses de telle manière que le moment du couple de torsion reste toujours très petit relativement à deux des couples résistants. Ce résultat est facile à obtenir, grâce à la longueur des bras de leviers qui servent de points d'attache aux haubans.

La disposition du fil sur les isolateurs est, comme tout le reste, le fruit de l'expérience.

A cause de la température élevée à laquelle il se trouverait soumis, il n'est pas possible de se servir d'un câble sous gutta pour relier le fil de traversée, partant du sommet du pylône, avec la ligne sur appuis ordinaires qui arriverait au bas. Le raccordement se fait, au moyen d'une portée différentielle, en fil d'acier de 2 millimètres qui constitue le fil de descente.

Autrefois, lorsque ce fil venait à être rompu soit accidentellement, soit plus souvent par malveillance, la grande portée glissait et tombait dans le fleuve où elle devenait la proie des voleurs. Il a fallu s'arranger pour parer à cet accident, ou tout au moins pour empêcher le fil de traversée d'être atteint, et, c'est dans ce but que M. Lourme a combiné le dispositif actuellement employé (*fig.* 20).

Pour chaque fil, il y a deux isolateurs placés dans le même plan horizontal; le fil de traversée s'enroule sur la poupée regardant le fleuve et s'y trouve arrêté solidement. Il passe ensuite sur la deuxième poupée; après plusieurs tours et un nouvel arrêt, on le soude au fil de descente qui, après avoir traversé un para-

tonnerre Bertsch, aboutit à une boîte de coupures placéé sur le poteau tête de ligne.

Le montage de ces pylônes, qui, à première vue, semble devoir être difficile, s'opère cependant très aisément et sans échafaudage. Ce résultat est dû à l'uniformité des pièces qui ne nécessitent pas d'ajustage et au poids minime de chacune des parties prise isolément.

La flèche se place avec une chèvre spéciale qu'il est facile d'enlever après la pose.

Tout le travail est fait par des ouvriers indigènes sous la conduite d'un ou deux surveillants européens.

La hardiesse de ces constructions est encore dépassée dans les poteaux mâtés du Tonkin qui, à une construction beaucoup plus simple, joignent, nous dit M. Brou, directeur des télégraphes de cette colonie, une solidité bien suffisante pour des hauteurs de 25 à 30 mètres.

Les appuis mâtés sont constitués jusqu'à 8 mètres de la base par deux fers à T de 100/115, assemblés, plat sur plat, par des boulons servant aussi à maintenir les marchepieds, espacés de 40 centimètres, et alternant de chaque côté du poteau.

De 8 mètres à 20 mètres, on emploie, en continuant le même montage, des fers de 100/80, puis, jusqu'au sommet, des fers de 100/60.

Le poteau ainsi élevé est maintenu vertical au moyen de quatre jambes de force qui l'étayent à $5^{m},50$ de sa base, et de douze haubans placés, quatre par quatre, à 10, 16 et 22 mètres du sol.

L'assemblage de deux barres bout à bout se fait au moyen de bandes de fer plat de 1 mètre de long et

d'une épaisseur appropriée aux efforts qu'elles auront à subir (60/15 et 40/10).

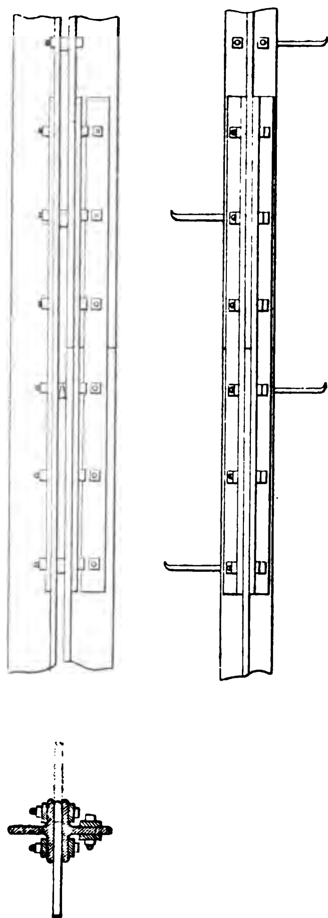


Fig. 24. — Raccordement de deux barres.

Les bandes s'appliquent de chaque côté de la nervure et sur les deux ailes du fer, ainsi que le montre le dessin (*fig.* 24).

On s'arrange dans le montage pour que les raccords des barres opposées ne soient pas sur le même plan horizontal.

Un cercle en fer plat, fixé à 2 mètres du sommet et formant hune, permet au surveillant de placer les isolateurs et de tendre les fils.

Toutes les pièces sont soigneusement coaltarées à chaud avant leur pose et revêtues d'une nouvelle couche de coaltar après le montage du poteau.

Nous terminerons ici notre étude de l'établissement des lignes sur appuis métalliques. Certes, beaucoup de choses resteraient à dire et bien des détails ingénieux seraient encore à signaler; mais nous avons surtout voulu montrer les avantages que présentent ces appuis, leur facilité de montage et d'utilisation, la souplesse avec laquelle ils se prêtent aux différentes nécessités de construction, enfin, les excellents résultats que, sur un champ d'expériences aussi vaste, ils ont toujours donnés.

DUBREUIL.

APPLICATION

DU

CALCUL GRAPHIQUE AU PONT DE WHEATSTONE

ET A

QUELQUES PROBLÈMES RELATIFS A DES COURANTS CONTINUS

Je me propose d'étudier ici par la méthode graphique quelques propriétés du Pont de Wheatstone. Soient A,C les sommets de la branche de pile, B et D les sommets de la branche galvanométrique. Je vais chercher à déterminer en particulier la résistance réduite du réseau de A en C. Soient alors R et R′ les résistances des branches de proportion ; r et r' les résistances des branches de comparaison, a la résistance de la branche du galvanomètre. Soient, de plus, i et i' les intensités du courant dans les résistances R et R′, ε l'intensité du courant dans le galvanomètre. Je suppose que le sommet A soit maintenu au potentiel 1, tandis que le sommet C est maintenu au potentiel zéro : si ρ est la résistance réduite de l'ensemble, j'aurai évidemment

$$1 = \rho(i + i').$$

D'autre part, les équations de Kirchhoff se réduisent alors à :

$$(1) \qquad 1 = (R + r)i - r\varepsilon$$

$$(2) \qquad 1 = (R' + r')i' + r'\varepsilon$$

$$(3) \qquad Ri + a\varepsilon = R'i'.$$

Ce sont là les trois équations que je vais interpréter graphiquement.

Au point de vue de la géométrie analytique, je puis considérer i, i', ε comme les coordonnées courantes d'un point rapporté à un système d'axes tri-rectangulaires. Les équations (1) et (2) sont alors les équations

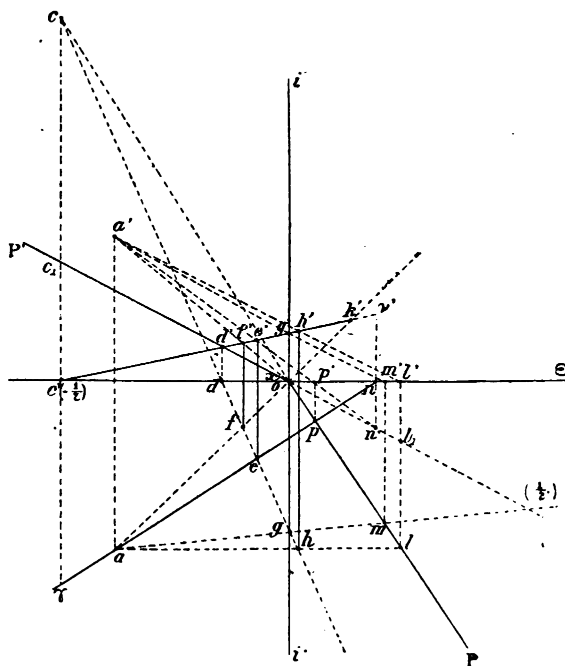


Fig. 1.

des plans projetants d'une droite sur le plan des i, ε et des i', ε respectivement. Et la résolution du système (1), (2), (3) revient à l'obtention du point d'intersection de cette droite avec le plan représenté par l'équation (3).

Je vais donc combiner ces indications de la géomé-

trie analytique avec les méthodes ordinaires de la géométrie descriptive.

Prenons pour ligne de terre l'axe des ε, pour plan vertical le plan des i, ε et pour plan horizontal le plan des i', ε. L'origine sera en un point O de la ligne de terre. Cela posé, construisons les trois plans (1),(2),(3).

Pour construire le plan vertical qui a pour trace sur le plan horizontal.

$$1 = (R' + r')i' + r'\varepsilon,$$

il suffit de remarquer que cette trace passe par le point a (voir *fig.* 1). $\left(i' = -\varepsilon = \frac{1}{R'}\right)$ et qu'elle coupe la ligne de terre au point $n\left(\varepsilon = \frac{1}{r'}\right)$.

Pour construire le plan

$$1 = (R + r)i - r\varepsilon,$$

il suffit de remarquer que sa trace sur le plan vertical passe par le point $k'\left(i = \varepsilon = \frac{1}{R}\right)$ et qu'elle rencontre la ligne de terre au point $c'\left(\varepsilon = -\frac{1}{r}\right)$.

Enfin pour construire le plan

$$Ri + a\varepsilon = R'i',$$

il suffit de remarquer qu'il passe par l'origine et que pour l'abscisse $\varepsilon = \frac{1}{a}$, ses traces ont pour ordonnées respectivement $i = -\frac{1}{R}$ et $i' = \frac{1}{R'}$. Soient l, l_1 les deux points ainsi obtenus pour l'abscisse $ol\left(\frac{1}{a}\right)$. J'appelle $P'\alpha$, $P\alpha$ ces deux traces.

Le plan (1) qui a pour trace sur le plan vertical la droite $(k'c')$, coupe le plan (3) $(P' \alpha P)$ suivant la droite $(cd, c'd')$.

Le plan (2) qui a pour trace sur le plan horizontal la droite (an) coupe le plan (3) $(P' \alpha P)$ suivant la droite $(apn, a'p'n')$.

Les deux droites $(cd, c'd')$ $(apn, a'p'n')$ se coupent en un point (e, e') dont les coordonnées sont i, i', ε.

Donc la droite $e\,e'$ est égale à $i + i' = \frac{1}{\rho}$ et sa distance au point o est égale à ε.

Le problème proposé est donc résolu graphiquement.

Nous allons maintenant supposer que R, R', r, a restent constants et que l'on fait varier la résistance r'. Cela revient à supposer que le point n dont la distance à l'origine est $\frac{1}{r'}$ se déplace le long de $o\,\varepsilon$.

Le plan vertical (2) tourne alors autour de la verticale du point a et la trace de ce plan sur le plan $(P' \alpha P)$ pivote autour du point $(a a')$ où cette verticale perce le plan $(P \alpha P')$

Le segment (ee') se déplace donc parallèlement à lui-même, le point e décrivant la droite ed, le point e' décrivant la droite $c'd'$.

Si je suppose $\frac{1}{r'} = 0$, le segment $e\,e'$ se confond alors avec ff'.

Si je suppose $\frac{1}{r'} = \infty$, le segment $e\,e'$ vient se confondre avec hh';

Il y a un état remarquable où l'on a $\varepsilon = 0$, c'est quand la droite an en tournant autour du point a vient à passer par le point g où la droite $c\,d$ rencontre le plan $\varepsilon = 0$ (l'axe des i').

On a alors deux triangles semblables $cc'd$, god d'où:

$$\frac{go}{cc'} = \frac{od}{dc'}$$

et on a aussi deux autres triangles semblables $c'c_1d'$, $og'd'$ d'où

$$\frac{og'}{c'c_1} = \frac{g'd'}{d'c'}.$$

Mais on a évidemment

$$\frac{g'd'}{d'c'} = \frac{od}{dc'}.$$

D'où l'on conclut

$$\frac{go}{cc'} = \frac{og'}{c'c_1}.$$

Or la droite (2) coupe l'axe oi' au point $\frac{1}{R'+r'} = og$
C'est og dans notre cas.

La droite (1) coupe de même l'axe oi au point $\frac{1}{R+r}$.
C'est og'.

Quant au rapport $\frac{cc'}{c'c_1}$, c'est le rapport des ordonnées des traces du plan (3) correspondant à une même abscisse; c'est donc $\frac{\frac{1}{R'}}{\frac{1}{R}}$.

On a donc :

$$\frac{\frac{1}{R'}}{\frac{1}{R}} = \frac{\frac{1}{R'+r'}}{\frac{1}{R+r}} \quad \text{d'où} \quad \frac{R}{R'} = \frac{r}{r'}.$$

C'est la condition bien connue.

Suivant que $\frac{1}{r'}$ est supérieur ou inférieur à cette valeur $\frac{1}{r'} = \frac{R}{R'r}$, la valeur de ε est positive ou négative.

L'épure ci-jointe peut paraître un peu compliquée au premier abord; cependant, quand il s'agira de calculer numériquement la résistance réduite d'un pont, elle pourra être préférable au calcul fait par la formule algébrique, qui est très complexe.

Nous pouvons, en appliquant les mêmes principes, étudier les variations de la résistance réduite du pont, lorsque l'on fait varier la valeur de la résistance a de la branche galvanométrique.

Nous remarquerons, à cet effet, que la droite figurée par les équations (1) et (2)

$$(1) \qquad 1 = Ri + r(i - \varepsilon)$$

$$(2) \qquad 1 = R'i' + r'(i' + \varepsilon).$$

reste invariable.

Quant au plan (3) $Ri + a\varepsilon = R'i'$; quand a varie, il tourne autour de la droite $\varepsilon = 0$ $Ri = R'i'$ située dans le plan de profil mené par l'origine.

Pour plus de clarté, nous prendrons pour nouveau plan vertical de projection ce plan de profil et nous tracerons la droite ($Ri = R'i'$). Soit $P'_1 0$ cette droite.

La droite représentée par les équations (1) et (2) a pour projection horizontale γn et pour projection verticale $\gamma' x'$. Le point (xx') de cette droite a pour ordonnée $\frac{1}{R}$. Soit OP la trace horizontale du plan (3). L'équation de cette trace est:

$$a\varepsilon = R'i'.$$

Donc pour $i = \frac{1}{R'}$ on a $\varepsilon = \frac{1}{a}$

La parallèle à la ligne de terre menée par le point $a\left(i'=\frac{1}{R'}, \varepsilon=\frac{1}{R'}\right)$ coupe OP en un point l et l'abscisse $\varepsilon = \lambda l$ est égale à $\frac{1}{a}$.

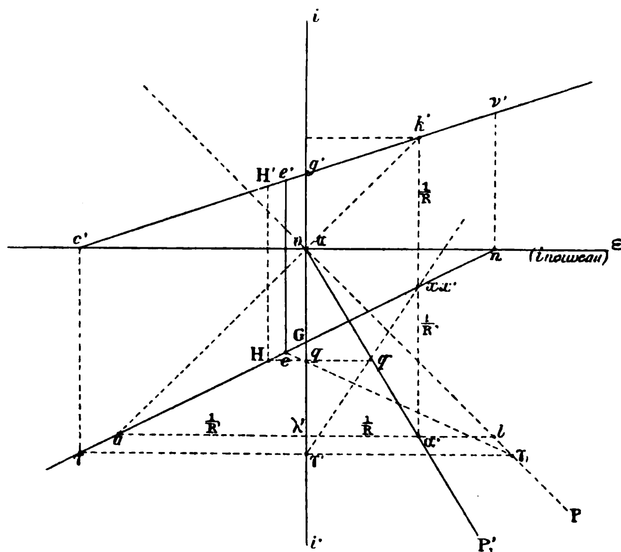


Fig. 2.

Le plan projetant la droite (1) (2) sur le plan de profil qui nous sert de nouveau plan de projection coupe le plan P α P', suivant la droite $(q\gamma_1, q'\gamma')$.

Cette droite coupe la droite (1) (2) au point $(e e')$. Le point $(q q')$ est un point fixe, lorsque $\frac{1}{a}$ varie. La trace P O tourne autour du point 0, le point γ_1 est l'intersection de cette droite avec une parallèle à la ligne de terre (0 ε) menée par γ. La droite $q\gamma_1$, dont l'intersection avec (γn) détermine le point e tourne ainsi autour du point q. On voit donc que, suivant l'orientation de

la droite $q\gamma_1$, la conductibilité $\frac{1}{\rho} = i + i'$ du pont varie de Gg' à HH', Gg' correspondant à $\frac{1}{a} = 0$ et HH' correspondant à $a = 0$. On voit aussi que, pour les valeurs intermédiaires de la variable a, la conductibilité du pont a des valeurs intermédiaires.

Notre objet principal étant ici de montrer que les méthodes graphiques qui ont rendu des services pour l'étude des courants alternatifs, peuvent rendre aussi des services, quand il s'agit de courants constants ; nous allons résoudre graphiquement divers problèmes.

1° Étant donné une résistance R en déduire la conductance $\frac{1}{R}$?

e trace deux axes rectangulaires OX, OY et je

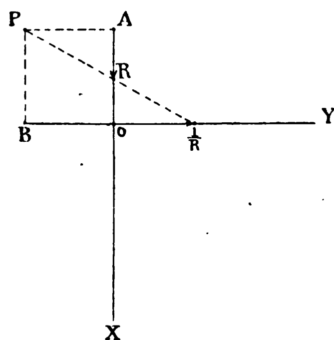


Fig. 3.

prends sur chacun d'eux le point situé à l'unité de distance avant l'origine. Je porte à partir de l'un d'eux A, sur l'axe Ax, les résistances R et je joins les extrémités des segments ainsi obtenus au point P qui est le 4e sommet du carré AOBP. Ces rayons coupent l'axe

BY en des points qui sont les extrémités des segments qui représentent les conductances correspondantes, le point B étant l'origine commune de ces segments.

2° Étant donné deux résistances R et r en dérivation, en déduire la résistance réduite ρ ?

On a

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{R} + \frac{1}{r}.$$

Je porte sur l'axe OY les résistances R et r à partir de l'origine. Les parallèles à l'axe des X menées par les extrémités de ces segments coupent la droite $X = a$ (a étant arbitraire) en deux points P, Q que je joins à l'origine. Les parallèles à l'axe des X menées par l'extrémité des segments R et r et les deux rayons OP, OQ formant un quadrilatère dont l'une des diagonales est la droite PQ($X = a$) et dont l'autre diagonale va couper l'axe des Y à l'extrémité du segment qui représente la résistance réduite. Il suffit de tracer l'un des rayons OP ou OQ, car cette diagonale passe par le point situé à la distance $-a$ de l'origine sur l'axe OX (*).

3° Afin d'avoir un nouvel exemple de calcul graphique, je vais appliquer la présente construction relative aux sommes d'inverses au problème ci-après : Le long d'une ligne télégraphique, sont répartis en dérivation des récepteurs. J'admettrai qu'ils aient la même résistance R. Supposons qu'il arrive au récepteur le plus éloigné un courant i_0, dont l'intensité soit suffisante pour le faire fonctionner. Si l'on fait fonctionner simultanément tous les récepteurs, qu'on pourra considérer, si l'on veut, comme des récepteurs d'heure, quelle sera la pile à employer à l'origine de la ligne?

(*) Le lecteur est prié de faire la figure.

Le courant qui passe dans le dernier récepteur étant i_0, le potentiel à l'entrée de ce récepteur est i_0 R ; le

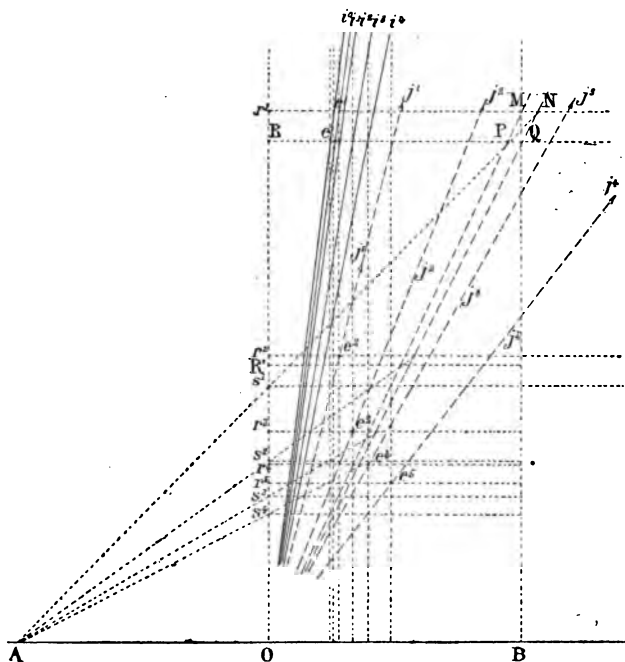


Fig. 4.

potentiel est i_0 (R + r_1), à l'origine de la dérivation précédente, si r_1 représente la résistance du dernier tronçon de ligne. Le potentiel étant i_0 (R + r_1), il passera dans le récepteur branché en ce point un courant $\frac{i_0 (R+r_1)}{R}$. Soit s_1 la résistance réduite de R et de R + r_1. Par suite, le potentiel à l'origine de la dérivation précedente sera $(i_0 + i_1)(s_1+r_2)$, si r_2 est la résistance de l'avant-dernier tronçon de ligne. Il passera donc dans l'antépénultième récepteur un courant d'intensité

$\frac{(i_0+i_1)s(+r_2)}{R}$. Soit s_2 la résistance composée de R et de s_1+r_2. Le potentiel à l'origine de la dérivation précédente sera $(i_0+i_1+i_2)(s_2+r_3)$. On en déduit le courant qui passe dans le récepteur branché en ce point et l'on peut continuer ainsi le calcul de proche en proche. Si nous supposons que les récepteurs aient 1000^ω de résistance et que tous les tronçons de ligne aient la même résistance $r_1=r_2=r_3=\ldots=60^\omega$, ce qui correspond à 6 kilomètres de fil télégraphique de 4^{mm} de diamètre, on obtient :

$i_0 = 10^{\text{milliampères}}$	$i_0 = 10$
$i_1 = 10,6$	$i_1 + i_0 = 20,6$
$i_2 = 11,8$	$i_2 + i_1 + i_0 = 32,4$
$i_3 = 13,7$	$i_3 + i_2 + i_1 + i_0 = 46,1$
$i_4 = 16,5$	$i_4 + i_3 + i_2 + i_1 + i_0 = 62,6$
$i_5 = 19,6$	

On peut lire sur l'épreuve ci-jointe le calcul des résistances composées s_1 s_2 etc., obtenues par une application de la construction des sommes d'inverses qui vient d'être indiquée. Les autres constructions donnent d'une façon simple les courants i_0, i_1, etc., qui traversent les divers récepteurs et les courants i_0, i_0+i_1, $i_0+i_1+i_2$, etc., qui traversent les tronçons successifs de la ligne télégraphique.

Si l'on se borne à cinq récepteurs, on voit que le potentiel à l'origine de la ligne sera de $19^v,6$, et le courant de 62,6 milliampères. Voici comment nous pourrons calculer la pile. Si E est sa force électromotrice et P sa résistance intérieure, on aura :

$$E - 0,0626.P = 19,6.$$

Supposons que nous ayons à employer des éléments

dont la résistance intérieure soit p. Par le fait du passage du courant 0,0626, le voltage aux bornes de cet élément sera réduit de $0,0626\,p$. Si cette réduction dépasse la force électromotrice de l'élément, l'élément ne pourra être employé, ou bien l'on sera obligé de réduire p artificiellement, en composant l'élément de pile de plusieurs éléments associés en surface. Si e est la force électromotrice de l'élément, on aura à diviser 19,6 par $e - 0,0626\,p$ et à prendre le quotient n à une unité près par excès. Le travail de la batterie étant $\mathrm{E}i = n.ei$, on à intérêt, au point de vue du travail de la pile, quand la constitution chimique est donnée et e fixé, à rendre n minimum. Il faut donc rendre $e - 0,0626\,p$ aussi grand que possible, ou p aussi faible que possible. On a donc avantage à employer des éléments grand modèle.

Les mêmes méthodes de calcul graphique seraient très commodes pour rechercher les intensités des courants qui traversent des lampes à incandescence branchées sur un circuit simple.

Ce cas revient, en principe, au précédent, malgré la présence du fil de retour, car la symétrie permet d'admettre que le milieu de chaque filament de lampe est au potentiel zéro. Il suffit alors de considérer une moitié du système, celle, par exemple, où le potentiel est positif.

J.-B. Pomey.

SUR LES MONTAGES DE POSTES

On termine le plus souvent la description des divers montages de postes, soit télégraphiques, soit téléphoniques, en suivant la marche du courant, successivement dans les différents cas qui peuvent se présenter, en ayant soin de montrer que les dérivations plus ou moins nombreuses, que l'on rencontre chemin faisant, aboutissent à des parties isolées et ne peuvent en conséquence apporter aucun trouble aux effets produits par le courant qui circule dans le circuit en cause. Pour chacun de ces divers cas, on doit indiquer, préalablement ou dans le cours de la description, la position des diverses clés. Une étude attentive montre qu'il y aurait intérêt à noter la dépendance de ces clés les unes par rapport aux autres et la subordination que l'ordre dans lequel elles sont placées sur les circuits, impose aux diverses fonctions. On peut alors se proposer d'établir un tableau synoptique pour faire ressortir cette subordination. La seule difficulté, c'est de trouver l'expression assez générale pour caractériser l'ensemble des fonctions qu'une clé a à remplir et l'état où l'on est, quand plusieurs alternatives sont également possibles. La nature de la clé dépend de ces alternatives. Parfois il y a une position de la clé qui doit être considérée comme la position normale, c'est la position de repos, ses autres positions sont des positions de travail et la clé est ramenée automatiquement au repos. Parfois les

diverses positions doivent pouvoir se maintenir d'elles-mêmes; ainsi la clé d'écoute reste dans la position où on l'a mise. Dans d'autres cas, comme dans le poste Ducousso, la clé est constituée par un relais qui a la propriété d'agir sur lui-même et de modifier la marche des courants qui le traversent. Nous allons éclaircir par des exemples les généralités qui précèdent.

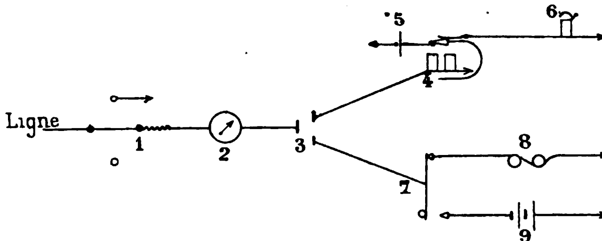


Fig. 1. — *Poste municipal.*

1. Paratonnerre à fil préservateur avec manette.
2. Galvanomètre pour poste.
3. Commutateur à fiche pour deux directions.
4. Relais (rappel par inversion de courant).
5. Pile locale.
6. Sonnerie.
7. Manipulateur Morse.
8. Récepteur Morse.
9. Pile de ligne.

Tableau synoptique des fonctions du montage d'un poste municipal.

Ligne
- isolée pour expériences.
- à la terre (orages...).
- en service
  - pour réception des appels, la sonnerie étant
    - au repos.
    - en fonctionnement.
  - pour correspondance télégraphique
    - d'appel au correspondant ou de réponse.
    - de réception.

A la première accolade correspondent trois alternatives commandées par une clé qui est la manette du paratonnerre à fil préservateur.

A la seconde correspond le commutateur à deux directions.

A la troisième correspond la languette du rappel par inversion.

A la quatrième le manipulateur Morse.

Passons à un deuxième exemple aussi simple.

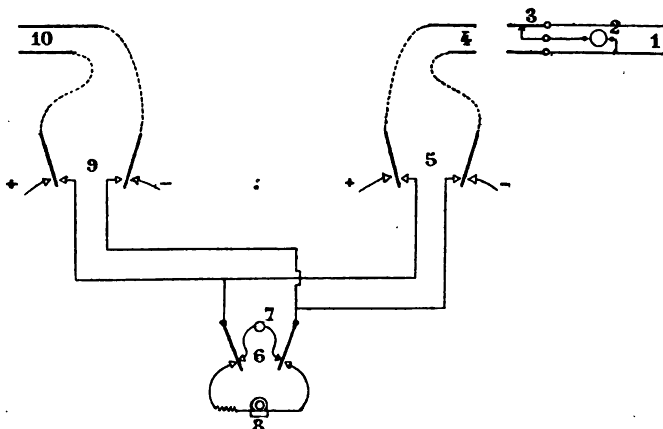


Fig. 2. — *Poste standard simple.*

1. Ligne d'abonné à double fil.
2. Annonciateur d'appel.
3. Jack particulier.
4. Fiche à deux contacts avec cordon souple.
5. Clé double d'appel.
6. Clé double dite clé d'écoute.
7. Annonciateur de fin de conversation.
8. Téléphone d'opérateur.
9. Clé double d'appel de la seconde fiche de la paire.
10. Fiche avec cordon souple.

Tableau synoptique de la subordination des fonctions.

Ligne en position
- de repos permettant au bureau de recevoir l'appel dans l'annonciateur.
- de travail
  - l'opérateur appelant l'abonné.
  - l'abonné communiquant
    - avec l'opérateur par voie téléphonique.
    - avec son correspondant par voie téléphonique et avec l'opérateur pour le signal télégraphique de fin de conversation.

A la première accolade correspond la fiche mobile qui permet d'enlever du circuit l'annonciateur d'appel.

A la seconde correspond la clé double d'appel, rappelée automatiquement au repos.

A la troisième correspond la clé d'écoute, qui de-

meure indifféremment dans l'une ou l'autre position où l'a placée l'opérateur.

Troisième et dernier exemple. — Montage d'un poste Ducousso.

Je suppose que le lecteur a pris connaissance de la description insérée au numéro des *Annales télégra-*

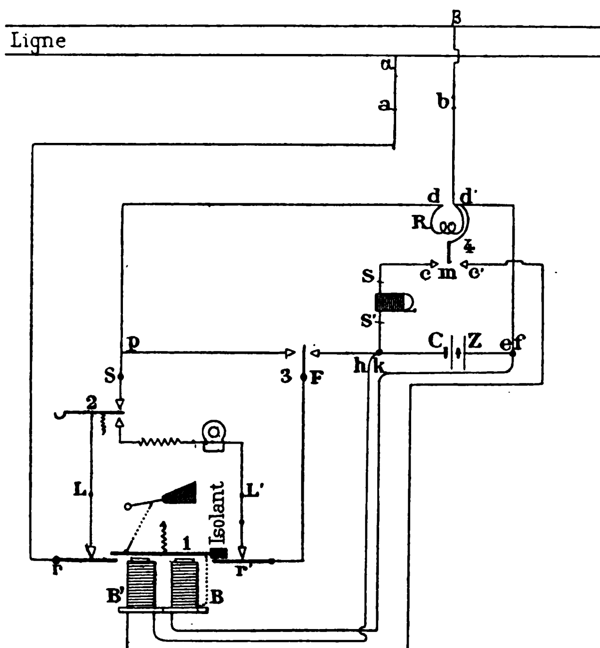


Fig. 3. — *Poste n° 1.*

phiques de septembre-octobre 1890, p. 442, et de la figure explicative, où l'emplacement des appareils était respecté. Je vais reproduire cette figure en modifiant cet emplacement de manière à éviter le plus possible les croisements de fils.

Nous avons conservé sur ce schéma les mêmes

lettres que sur la figure donnée par M. Mambret dans ledit article. Les clés sont marquées d'un chiffre : 1, 2, 3 et 4.

Le tableau synoptique des fonctions pourrait être ainsi conçu :

- Ligne (clé 1)
  - sur relais B, qui isole l'appareil microtéléphonique et fait apparaître le voyant (*ligne occupée*).
  - sur poste micro-téléphonique dans la position (clé 2)
    - d'attente, l'armature du relais polarisé étant (clé 4)
      - isolée (repos).
      - à droite si le poste 2 est appelé (1) ou en conversation avec le bureau.
      - à gauche si le poste 1 est appelé (2).
    - de conversation (clé 3)
      - avec le bureau (pile en circuit) (3).
      - avec le second poste associé (relais Ader en circuit).

(1) Ce qui actionne le relais B'. Ce relais agissant sur l'armature qui constitue la première clé a pour effet d'isoler le poste microtéléphonique et de le maintenir dans cette position en dirigeant le courant de ligne sur le relais B.

(2) Ce qui actionne la sonnerie d'appel.

(3) Ce qui immobilise le poste associé.

Nous croyons avoir montré ainsi suffisamment l'utilité de ce qu'on pourrait appeler les tableaux synoptiques des fonctions.

J.-B. Pomey.

NOTE

SUR L'EMPLOI DU PONT DE THOMSON

POUR LA MESURE DE LA RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE

DES FILS DESTINÉS A LA CONSTRUCTION DES LIGNES AÉRIENNES

M. Massin, ingénieur des télégraphes, a fait installer au service de la vérification du matériel, un pont de Thomson (construit par la maison Carpentier), pour la détermination de la résistance électrique des fils de toute nature destinés à la construction des lignes aériennes.

Sans entrer, en aucune façon, dans la théorie du pont de Thomson, nous nous servirons de la formule suivante, tirée du *Traité d'électricité et de magnétisme*, de M. Vaschy, ingénieur des télégraphes (*), pour en déduire quelques considérations nécessaires à l'explication de l'appareil dont nous donnons ci-contre (*fig.* 1, 2, 3), l'aspect et les communications.

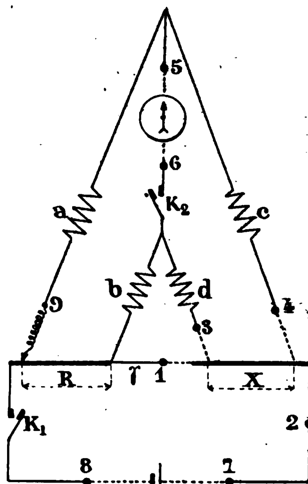


Fig. 1.

(*) *Électricité et magnétisme*, 2e vol., p. 327.

Dans l'égalité ci-dessous, a, b, c, d représentent les résistances des branches de proportion du pont; R représente la résistance de comparaison; X la résistance à essayer; γ une résistance très petite faisant partie du circuit principal et constituant une dérivation entre les branches b et d.

Lorsqu'il ne passe aucun courant dans le galvanomètre, on a :

$$\frac{a}{c} = \frac{R + \gamma \frac{b}{b+d+\gamma}}{X + \gamma \frac{d}{b+d+\gamma}},$$

c'est-à-dire :

$$\frac{X}{c} + \frac{d}{c} \frac{\gamma}{b+d+\gamma} = \frac{R}{a} + \frac{b}{a} \frac{\gamma}{b+d+\gamma},$$

d'où :

$$\frac{X}{c} - \frac{R}{a} = \left(\frac{b}{a} - \frac{d}{c}\right) \frac{\gamma}{b+d+\gamma}.$$

Or le rapport $\frac{b}{a}$ est toujours égal au rapport $\frac{d}{c}$, car par construction $b = a$ et $d = c$ pour chacune des positions possibles du double bras M (*fig.* 2).

Il vient par conséquent :

$$\frac{X}{c} - \frac{R}{a} = 0, \quad \text{quel que soit} \quad \frac{\gamma}{b+d+\gamma},$$

d'ailleurs très petit.

(En effet, la résistance γ étant constituée par un fil de cuivre de forte section et de très faible longueur est d'un ordre bien moins élevé que la résistance de 10.100^{ω} que le constructeur a donnée aux sommes des branches de proportion $b + d$ et $c + a$).

Par suite

$$X = \frac{c}{a} R.$$

Les différentes valeurs que peut prendre le rapport $\frac{c}{a}$, sont :

$$\frac{c}{a} = 100,$$
$$= 10,$$
$$= 1,$$
$$= \frac{1}{10},$$
$$= \frac{1}{100}.$$

De plus, la résistance étalon R peut varier suivant la position du curseur H (*fig.* 2) par $\frac{1}{10.000}$ d'ohm depuis $\frac{1}{10.000}$ d'ohm jusqu'à sa valeur totale $\frac{1}{100}$ d'ohm.

On peut donc mesurer une résistance X comprise entre :

$$X = \frac{1}{100}\left(\frac{1}{10.000}\right)^{\omega} = 1 \text{ microhm},$$

et

$$X = 100\left(\frac{1}{100}\right)^{\omega} = 1 \text{ ohm}.$$

La *fig.* 2, montre les dispositions que M. Carpentier a adoptées pour la construction du pont de Thomson, dont la *fig.* 1 donne les communications théoriques.

Les branches de proportion a, b, c, d dont les positions relatives sont indiquées par des arcs de cercle sur la *fig.* 2, sont constituées par deux séries de six bobines de résistance reliées entre elles par des plots disposés en couronne.

Cette couronne, que nous appellerons extérieure, est divisée en deux demi-couronnes : l'une supérieure cor-

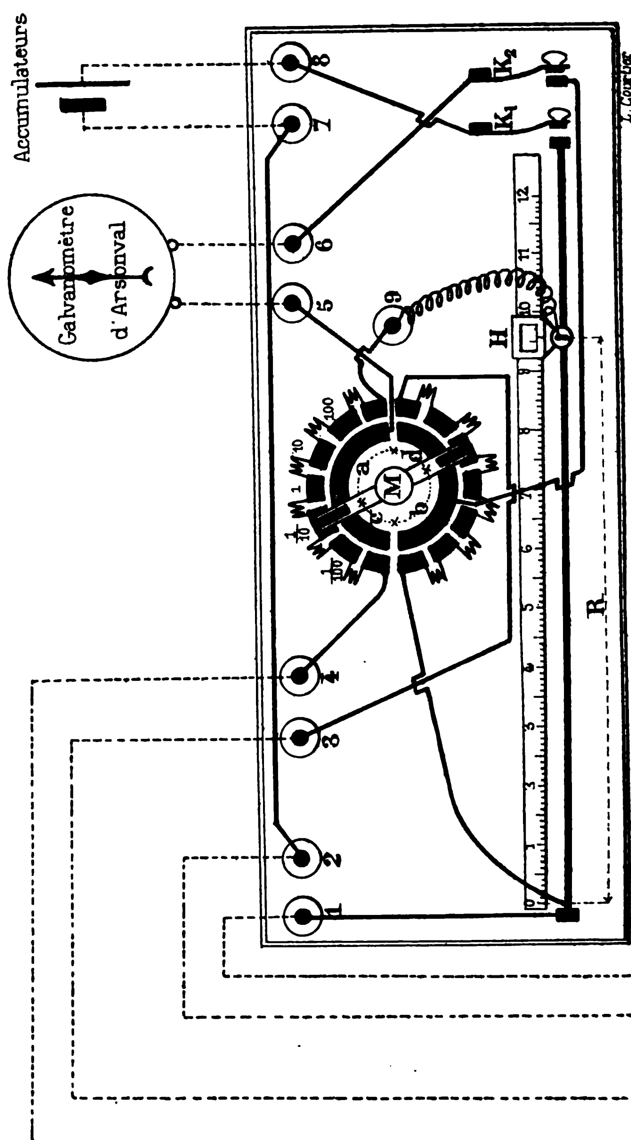

Accumulateurs
Galvanomètre
d'Arsonval
1
2
3
4
5
6
7
8
9
K_1
K_2
H
R
M
a
b
c
d
100
10
1
$\frac{1}{10}$
$\frac{1}{100}$
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12

Fig. 2.

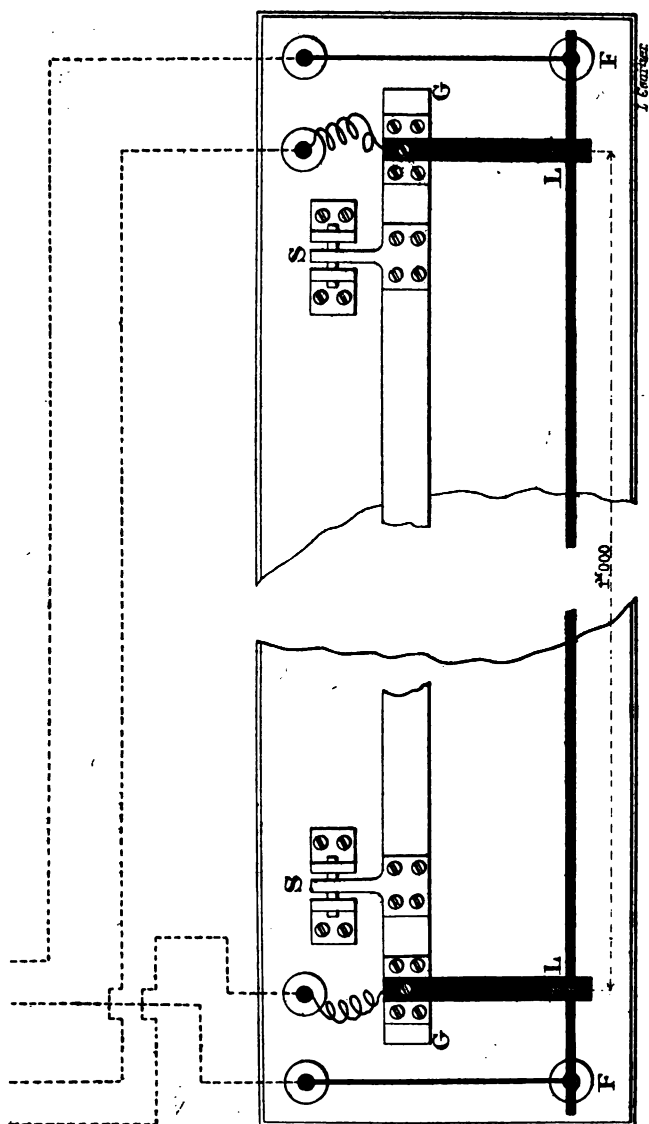


Fig. 3.

respondant aux branches *c* et *a*, l'autre inférieure correspondant aux branches *d* et *b*.

Une couronne intérieure, concentrique à la première, est divisée également en deux demi-couronnes : l'une supérieure, l'autre inférieure.

Le double bras M, qui est mobile autour du centre des couronnes, possède à chacune de ses extrémités un ressort isolé dont le rôle consiste à assurer la communication entre un plot quelconque d'une demi-couronne extérieure et la demi-couronne intérieure correspondante.

La *fig.* 4 indiquant les résistances des 12 bobines du pont, il est facile de se rendre compte que, en faisant varier la position du double bras M, on fera également varier les résistances des branches *c* et *a* de façon à donner à leur rapport l'une des valeurs indiquées : $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{10}$, 1, 10, 100.

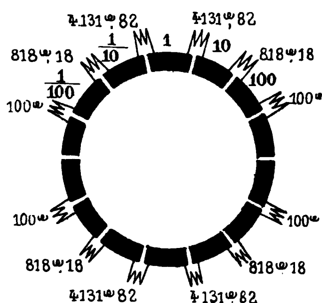


Fig. 4.

La valeur de la résistance R est déterminée par la position du curseur H (*fig.* 2) sur une règle graduée placée parallèlement à un fil de maillechort exactement calibré. Le curseur est muni d'un couteau en platine

qui, lorsqu'on le pousse de haut en bas, vient prendre contact sur le fil de maillechort. La résistance de celui-ci, depuis son origine jusqu'au couteau est indiquée sur la règle dont chaque division représente $\frac{1}{10000}$ d'ohm.

De nombreuses expériences nous ont permis de constater l'exactitude des divers rapports $\frac{c}{a}$ du pont. Pour un même fil, essayé successivement avec deux branches de proportion différentes, on trouve dans les deux cas la même valeur pour X.

Toutefois, pour un fil de longueur donnée, il y a intérêt à choisir le rappport $\frac{c}{a}$ aussi petit que possible pour que la résistance R soit représentée par une plus grande longueur du fil étalon et par conséquent puisse être appréciée avec plus d'exactitude.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur la description du pont de Thomson dont on peut suivre toutes les communications sur la *fig.* 2. Pour permettre de retrouver facilement la concordance entre les communications théoriques du schéma et celles de l'appareil, on a numéroté les bornes de ce dernier, puis indiqué leurs positions avec leurs numéros sur la *fig.* 1.

Dans chaque expérience, il est nécessaire de déterminer, avec soin, la longueur de fil soumise à l'essai. Cette longueur qu'il serait facile de mesurer pourrait être quelconque à la condition que la résistance absolue de l'échantillon fût comprise entre 1 microhm et 1 ohm. Mais en raison des très nombreuses expériences que la

vérification du matériel a constamment à faire, on a jugé préférable d'adopter une longueur d'essai invariable, connue une fois pour toutes, pour les fils de toutes sections et de toute nature.

La longueur du mètre a été choisie pour deux raisons : 1° parce que, pour presque tous les conducteurs employés par l'administration, la résistance du mètre de fil est comparable à celle du fil étalon de maillechort; 2° parce que, les conditions de résistance électrique imposées par nos cahiers des charges s'appliquant toujours au kilomètre, les calculs se bornent à un simple déplacement de virgule.

Il restait à combiner un appareil accessoire du pont qui permît d'obtenir exactement et constamment une longueur de 1 mètre, tout en nécessitant le moins possible de manipulations. C'est ce que la vérification du matériel a réalisé de la manière suivante (*fig.* 3).

L'appareil comporte essentiellement deux bornes fixes FF et deux couteaux mobiles LL disposés comme il est dit ci-après, de façon à pouvoir être amenés au contact d'un fil serré entre les deux bornes fixes.

Les couteaux LL, dont les arêtes sont platinées, sont placés aux extrémités antérieures de deux ressorts-lames fixés eux-mêmes par leur autre extrémité à une règle en laiton GG mobile autour d'un axe horizontal constitué par les deux charnières SS.

Pour isoler les ressorts de la règle, on les a encastrés dans des blocs d'ébonite encastrés eux-mêmes dans la règle.

Ce procédé de construction a eu pour but d'assurer entre les arêtes des couteaux qui ont été rigoureusement espacées de 1 mètre un écartement invariable nécessaire à la précision des mesures.

La règle de laiton a été choisie de section suffisante pour obliger les ressorts lames à fléchir légèrement sous son poids de façon que les couteaux se trouvent toujours simultanément en contact avec le fil à essayer, lequel, malgré tout le soin apporté à le dresser préalablement, ne saurait être d'une rectitude absolue.

Les bornes FF et les charnières SS sont fixées sur une planchette pourvue à son arrière de quatre bornes dont les deux extrêmes communiquent avec les points de serrage du fil et les deux autres avec les couteaux au moyen de fils souples.

Les communications reliant la planchette et le pont sont représentées dans les *fig.* 1 et 2 par des lignes pointillées.

Il est utile, en passant, de faire la remarque suivante pour prévenir l'objection que l'on pourrait tirer du défaut de perfection des contacts donnés par les couteaux H (*fig.* 2) et LL (*fig.* 3).

Si on examine sur la *fig.* 1 l'emplacement de ces contacts, on s'aperçoit que leurs résistances ne font que s'ajouter aux branches de proportion a, d, c. Or, même en tenant ces contacts pour relativement imparfaits, on ne saurait, en aucun cas, comparer leurs résistances à celles très considérables des branches a, d, c. Par suite, ils ne peuvent influer d'une façon appréciable sur la valeur des rapports $\frac{b}{a}$ et $\frac{d}{c}$.

Pour compléter la description de l'installation, il suffira de dire qu'on emploie un galvanomètre d'Arsonval à miroir et à fil de suspension très fin et que le courant est fourni par une batterie de huit accumulateurs Laurent-Cély montés en tension.

Un rhéostat de Cance permet de règler l'intensité du

courant de manière à ne pas dépasser huit ampères dans le circuit principal.

On fait du reste passer le courant des accumulateurs le moins de temps possible pour ne pas élever la température du fil en expérience. D'ailleurs, les résistances à essayer n'ayant pas de self-induction, il suffit que l'équipage du galvanomètre ait reçu une impulsion pour savoir dans quel sens il faut faire varier la résistance R.

Étant donné ce qui précède, il suffira, pour montrer la rapidité des expériences au moyen du pont de Thomson d'indiquer dans leur ordre les différentes opérations nécessaires pour faire un essai de résistance.

L'échantillon préalablement dressé est serré entre les bornes FF, puis les couteaux LL sont amenés au contact du fil.

On appuie successivement sur le couteau H, sur la clé de galvanomètre K_2, puis un très court instant sur la clé de pile K_1. On recommence cette manœuvre après chaque déplacement du curseur H jusqu'au moment où l'on obtient l'immobilité du miroir du galvanomètre.

Il ne reste plus, pour obtenir la résistance métrique du fil essayé, qu'à lire la valeur de R, indiquée sur la règle graduée, et à la multiplier par le rapport $\frac{c}{a}$ employé.

Si, dans une expérience, on suppose que l'équilibre est obtenu avec les positions du curseur H et du double bras M représentées dans la *fig.* 2, on trouvera de suite que la résistance kilométrique du fil essayé

est :

$$X = \frac{1}{10} \times \left(\frac{96}{10.000}\right)^{\omega} \times 1.000 = 0^{\omega},96.$$

Nous terminerons ces notes par quelques considérations qui feront ressortir les avantages que présente la substitution du pont de Thomson au pont de Wheatstone pour les essais ordinaires de résistance des fils.

Au pont de Thomson avec l'aide d'un seul homme chargé de serrer le fil sous les bornes F F et d'amener à son contact les couteaux L L (*fig.* 2), l'électricien peut faire très facilement trente essais à l'heure.

Au pont de Wheastone, les expériences sont beaucoup moins rapides. On sait, en effet, que cet appareil ne permet pas de mesurer avec une grande approximation, les faibles résistances.

Pour donner plus de précision aux expériences, on a été conduit à adopter une longueur d'essai de 200 mètres, longueur d'ailleurs très voisine de celle des couronnes de fil de gros diamètre.

Ces 200 mètres de fil sont enroulés suivant une hélice creusée sur la surface latérale d'un cylindre en bois mobile autour d'un axe horizontal.

Il faut au moins trois ouvriers pour cette opération; l'un pour animer le cylindre d'un mouvement de rotation; un second pour guider le fil suivant l'hélice et éviter que des spires voisines ne se touchent; un troisième pour veiller au dévidage régulier de la couronne. Quand l'essai électrique a été fait, ces trois hommes sont encore nécessaires pour dégarnir le cylindre et reformer la couronne.

L'opération dont il vient d'être parlé, enroulement et déroulement d'une couronne, demande en moyenne un quart d'heure.

La comparaison de la durée des expériences et du personnel nécessaire avec l'une ou l'autre installation de mesure électrique, montre que dans le même laps de temps, on ferait huit fois plus d'essais et à moins de frais au pont de Thomson qu'au pont de Wheatstone.

La diminution des dépenses de main-d'œuvre n'est pas non plus à dédaigner. Si on considère que le service de la vérification du matériel télégraphique fait chaque année environ 2.300 essais de résistance électrique sur les conducteurs destinés aux lignes aériennes, on ne sera pas taxé d'exagération en évaluant à 900 francs l'économie annuelle permise par l'emploi du pont de Thomson.

De nombreuses expériences comparatives nous ont permis de constater que la moyenne des mesures faites au pont de Thomson, en différents points convenablement espacés sur une couronne de fil, indique précisément pour résistance celle qu'on trouve au pont de Wheastone dans un seul essai sur la longueur totale du fil.

Nous nous hâterons d'ajouter que pour les fils ordinaires les variations de conductibilité dans une même couronne ont trop peu d'importance pour qu'en pratique on ne se contente pas d'un seul essai.

Toutefois l'attention ayant été appelée sur ce point, nous avons pu constater que dans certains fils compounds, les écarts de résistance sont parfois assez considérables en différents points d'une même couronne, pour dépasser 20 p. 100. Des essais mécaniques effectués sur les parties de fils préalablement soumises aux épreuves électriques sont venues corroborer les indications de ces dernières.

Un autre avantage du pont de Thomson est de permettre le tri, au point de vue de la résistance électrique, de grandes quantités de fil, travail que la longueur des essais au pont de Wheatstone avait jusqu'ici rendu impraticable.

Si la résistance des fils ne doit pas dépasser un maximum, il suffira de donner, au préalable, à la résistance R au moyen du curseur mobile du pont de Thomson, une valeur telle que toute déviation dans un sens donné indique une résistance trop grande pour la longueur du fil essayé, longueur qui pourra être très petite, 10 centimètres ou 20 centimètres par exemple.

Dans ces conditions et avec un personnel suffisant, on pourra aisément trier une centaine de couronnes à l'heure.

Il résulte de ces considérations que l'installation d'un pont de Thomson, qui est d'ailleurs moins coûteuse que celle d'un pont de Wheastone, est avantageuse pour essayer la résistance des couronnes de fil.

MUTEL.

SUR
LA FORCE ÉLECTROMOTRICE NÉCESSAIRE
POUR
PRODUIRE UN COURANT D'INTENSITÉ VARIABLE
LE LONG D'UN CONDUCTEUR CYLINDRIQUE

Nous avons publié, en 1890, sous ce titre, un article qui a paru dans les numéros de Mai-Juin, Juillet-Août et Septembre-Octobre de ce recueil et dans l'*Électricien.*

Nous nous proposions d'étudier la résistance que présente effectivement un conducteur traversé par un courant variable et en particulier par un courant sinusoïdal et de nous rendre compte de l'amélioration que pouvait apporter la substitution, préconisée par Lord Kelvin à la suite d'un raisonnement un peu superficiel, d'un conducteur creux à un conducteur plein dans le cas où cette résistance devenait notablement supérieure à celle mesurée au moyen de courants continus.

Nous avons, dans l'article dont il est fait mention plus haut, étudié la variation de la résistance et de la selfinduction effectives du conducteur plein avec la fréquence du courant sinusoïdal. Malheureusement, les diverses occupations techniques qui ont absorbé notre temps depuis cette époque ne nous ont pas laissé le loisir d'étudier suffisamment et de surmonter peut-être

les difficultés que nous a offertes l'étude théorique rigoureuse du conducteur creux.

Bien que ne perdant pas complètement de vue cette question, nous n'en pouvons encore présenter la solution aux lecteurs des *Annales Télégraphiques*; mais nous désirons compléter l'étude du conducteur plein par une rectification, qui ne fait que confirmer l'opinion que nous avions émise en 1890 sur le rôle des fils de fer en téléphonie, et par l'étude de la variation de la résistance effective quand le paramètre dont dépend cette résistance croît indéfiniment.

Nous avions énoncé un 1890 cet avis que *l'augmentation de la résistance effective des fils de fer avec la période du courant est la seule raison pour laquelle le fer est impropre à la téléphonie à grande distance*. Dans l'ignorance où nous nous trouvions à ce moment de la perméabilité magnétique des fils de fer qui constituent les lignes télégraphiques, nous avions adopté pour cette perméabilité le nombre 300 qui ne paraissait pas exagéré. Depuis cette époque, M. Massin a pu procéder dans de bonnes conditions à des mesures de cofficient de self-induction de lignes doubles, les unes en cuivre, les autres en fer, mesures d'où on peut conclure que la perméabilité de nos fils de fer télégraphiques est comprise entre 80 et 100.

Adoptons le chiffre 80, qui est le plus faible, celui par conséquent pour lequel la résistance sera le moins altérée pour une fréquence donnée; la question de l'emploi du fer en téléphonie a une importance suffisante pour que nous tenions à montrer que, malgré l'abaissement de la valeur de la perméabilité, nos conclusions n'en subsistent pas moins.

Prenons une ligne à double fil de fer de 5 millimètres

de diamètre, d'une longueur de 400 kilomètres, et conservons d'ailleurs toutes les notations de notre précédent article.

M. Vaschy a démontré que les qualités de la courbe du courant à l'arrivée sur une ligne dépendent seulement d'un paramètre

$$h = \frac{L}{CR^2},$$

où L, C et R désignent les coefficient de self-induction, capacité électrostatique et résistance totales de la ligne. Le rapport $\frac{L}{C}$ est d'ailleurs indépendant de la longueur de la ligne.

Pour

$$h = \frac{1}{16},$$

la courbe du courant à l'arrivée est presque identique à la courbe au départ, avec un retard égal à la durée de la propagation.

En comparant à des lignes connues, on arrive à conclure que pour

$$h < \frac{1}{35},$$

la transmission téléphonique devient si mauvaise qu'on peut la considérer comme impraticable.

Ceci posé, les données de notre ligne en fer seront très approximativement, en courant continu,

$$L = 105$$
$$C = 45{,}10^{-6}$$
$$R = 5.200$$

d'où l'on tire

$$h = \frac{1}{11{,}5}.$$

C'est donc une ligne dans de très bonnes conditions. Mais faisons la parcourir par un courant sinusoïdal d'une fréquence égale à 500 périodes, ce qui est la moyenne des sons de la voix humaine. Nous aurons

$$\beta = 3,7$$
$$L_1 = 85$$
$$R_1 = 5200 \times 1,68$$

et par conséquent

$$h_1 = \frac{1}{40}.$$

C'est-à-dire que cette ligne ne serait plus apte à la transmission de la parole; elle le serait d'autant moins que les harmoniques supérieurs seraient altérés d'une manière excessive.

Cette conclusion pourrait se vérifier expérimentalement, et cette vérification présenterait un certain intérêt.

Cherchons à nous rendre compte de ce que donnerait la même ligne à simple fil.

La résistance serait réduite à moitié, la capacité électrostatique serait par contre sensiblement doublée, tandis que la self-induction prendrait une valeur impossible à calculer exactement. Admettons pour tenir compte de ce que le retour se fait par la terre dont la perméabilité est 1, que la self-induction soit réduite à 50 henrys par quadrant terrestre, nous aurons

$$h'_1 = h_1 \times \frac{50}{\frac{85 \times 2}{4}} = \frac{h_1}{0,85} = \frac{1}{34}.$$

Cette ligne, sans être dans de bonnes conditions, serait cependant meilleure que la ligne à double fil, à condition de rester éloignée de toute induction étrangère, soit électromagnétique, soit électrostatique, et,

si on admet que, par suite de l'épanouissement du retour par la terre,la self-induction puisse ne pas descendre au dessous du nombre 85 henrys par quadrant, la ligne transmettra les ondulations de 500 périodes dans de bonnes conditions. Mais il n'en sera pas de même des harmoniques supérieurs et la voix sera très altérée.

Ces conclusions s'appliquent à fortiori aux fils de 4 millimètres, dont la résistance effective, toutes choses égales d'ailleurs, est plus grande que celle des fils de 5 millimètres, et on en déduira immédiatement que, dès que la distance atteint 400 kilomètres, le fer ne peut plus être employé à la construction des lignes téléphoniques que sous forme de conducteur creux de faible épaisseur.

Si l'emploi du conducteur creux offre réellement, comme cela paraît probable, les avantages que lui reconnait Lord Kelvin, le fer pourrait être utilisé sous forme d'un câble très souple, composé d'une grosse âme en chanvre armée de petits fils de fer, mais son emploi est condamné à l'état de conducteur massif.

Ce point complètement éclairci, cherchons à simplifier la forme de nos expressions relatives à la résistance et à la self-induction effectives, en conservant toutes nos précédentes notations.

Posons

$$\text{(1)} \qquad H(\beta) = \sum_0^\infty \frac{\beta^n}{n!(n+1)!}.$$

Nous aurons (*) :

$$\text{(2)} \qquad \begin{cases} A(\beta) = \frac{1}{2}[H(\beta i) + H(-\beta i)] \\ \omega B(\beta) = \frac{1}{2i}[H(\beta i) - H(-\beta i)] \end{cases}$$

(*) La lettre i désigne le symbole des imaginaires $\sqrt{-1}$.

D'ailleurs,

$$(3)\ \begin{cases} R_1 = R\left(1+\beta\dfrac{-\omega BA_1-\omega AB_1}{A^2+\omega^2B^2}\right) = R\left[+1+\dfrac{\beta}{2}\dfrac{d}{d\beta}\lg(A^2+\omega^2B^2)\right] \\ L_1 = L-\dfrac{\mu}{2}+\mu\dfrac{AA_1+BB_1\omega^2}{A^2+\omega^2B^2} = L-\dfrac{\mu}{2}-\mu\dfrac{d}{d\beta}\left(\operatorname{arc\,tg}\dfrac{A}{\omega B}\right) \end{cases}$$

or,

$$\begin{cases} A^2+\omega^2B^2 = H(\beta i)H(-\beta i) \\ \dfrac{\omega B}{A} = \dfrac{1}{i}\dfrac{H(\beta i)-H(-\beta i)}{H(\beta i)+H(-\beta i)} \end{cases}$$

nous ne savons pas exprimer H (β) au moyen de fonctions connues, mais nous pouvons écrire l'équation différentielle dont elle dépend.

En effet :

$$(5)\qquad \beta H(\beta) = \sum_0^\infty \frac{\beta^{n+1}}{n!(n+1)!}$$

et par suite :

$$(5')\quad \frac{d^2}{d\beta^2}[\beta H(\beta)] = \sum_1^\infty \frac{\beta^{n-1}}{n!(n-1)!} = \sum_0^\infty \frac{\beta^n}{n!(n+1)!} = H(\beta).$$

Posons :

$$(6)\qquad \beta H(\beta) = e^{\xi(\beta)},$$

il viendra :

$$(5'')\qquad \frac{d^2e^\xi}{d\beta^2} = \frac{e^\xi}{\beta}$$

ou,

$$(7)\qquad \frac{d^2\xi}{d\beta^2} + \left(\frac{d\xi}{d\beta}\right)^2 - \frac{1}{\beta} = 0.$$

Cette équation peut se ramener au premier ordre en prenant :

$$(8)\qquad z(\beta) = \left(\frac{d\xi}{d\beta}\right),$$

d'où,

$$(9)\qquad \frac{dz}{d\beta} + z^2 - \frac{1}{\beta} = 0.$$

Voyons maintenant ce que deviennent les expressions (3) par suite de ces diverses transformations.

Nous avons

$$(4') \qquad A^2 + \omega^2 B^2 = H(\beta i) H(-\beta i) = \frac{e^{\xi(\beta i) + \xi(-\beta i)}}{\beta^2},$$

d'où

$$(4'') \qquad \lg(A^2 + \omega^2 B^2) = -2 \lg \beta + \xi(\beta i) + \xi(-\beta i)$$

et par suite

$$(10) \qquad \frac{d}{d\beta} \lg(A^2 + \omega^2 B^2) = -\frac{2}{\beta} + \frac{d\xi(\beta i)}{d\beta} + \frac{d\xi(-i\beta)}{d\beta}$$

ou, comme

$$\frac{d\xi(\beta i)}{d\beta} = i \frac{d\xi(\beta i)}{d\beta i},$$

$$(10') \qquad \frac{d}{d\beta} \lg(A^2 + \omega^2 B^2) = -\frac{2}{\beta} + i[z(\beta i) - z(-\beta i)].$$

En substituant dans la première des équations (3) il vient

$$(3') \qquad y = \frac{R_1}{R} = \frac{\beta i}{2} [z(\beta i) - z(-\beta i)]$$

et en effectuant le développement en série de $z(\beta)$, on retomberait identiquement sur la série dont les premiers termes sont donnés dans notre précédent article (*)

(*) Ces transformations permettent aussi de retomber sur la formule à l'aide de laquelle Lord Kelvin a construit sa table.

Posons en effet :

$$\beta i H(\beta i) = \varphi(\beta) + i\psi(\beta).$$

Nous aurons :

$$A^2 + \omega^2 B^2 = \frac{\varphi^2(\beta) + \psi^2(\beta)}{\beta^2}$$

par conséquent,

$$lg\,(A^2 + \omega^2 B^2) = -2\beta + lg[\varphi^2(\beta) + \psi^2(\beta)]$$

et enfin,

$$y = \beta \frac{\psi(\beta)\varphi'(\beta) + \psi(\beta)\psi'(\beta}{\varphi^2(\beta) + \psi^2(\beta)}$$

en désignant par φ' et ψ' les dérivés de φ et ψ par rapport à β.

Quant à la self-induction nous aurons

$$(4''') \qquad \frac{\omega B}{A} = \frac{1}{i} \frac{e^{\xi(\beta i)} + e^{+\xi(-\beta i)}}{e^{\xi(\beta i)} - e^{+\xi(-\beta i)}}$$

et si nous mettons $\xi(\beta i)$ sous la forme

$$(11) \qquad \xi(\beta i) = q' + qi,$$

nous aurons finalement

$$(4^{\text{iv}}) \qquad \frac{A}{\omega B} = i . \frac{e^{qi} - e^{-qi}}{e^{qi} + e^{-qi}} = -\operatorname{tg} q.$$

Par suite

$$(4^{\text{v}}) \qquad q = -\operatorname{arc\,tg} \frac{A}{\omega B}$$

et

$$(3'') \qquad L_1 = L - \frac{\mu}{2} + \mu \frac{dq}{d\beta}.$$

Si donc nous mettons $z(\beta i)$ sous la forme

$$(12) \qquad z(\beta i) = S + Ti,$$

nous aurons finalement

$$(3''') \qquad \begin{cases} y = -\beta T \\ L_1 = L - \mu \left(\frac{1}{2} - T\right) = L - \mu \left(\frac{1}{2} + \frac{y}{\beta}\right). \end{cases}$$

Ces valeurs ont un intérêt réel, malgré l'impossibilité où nous sommes (*) de résoudre l'équation (9),

D'ailleurs

$$\beta i H(\beta i) = \sum_0^\infty \frac{(\beta i)^{n+1}}{n!(n+1)!}.$$

Donc

$$\varphi(\beta) = \sum_1^\infty \frac{(-1)^n \beta^{2n}}{(2n-1)!(2n)!}$$

$$\psi(\beta = \sum_0^\infty \frac{(-1)^n \beta^{2n+1}}{2n!\,(2n+1)!}$$

et il est facile de voir qu'en prenant pour variable $2\sqrt{\beta}$ on retombe identiquement sur la formule de Lord Kelvin.

(*) L'impossibilité n'existe pas en réalité de résoudre l'équation (9), mais

parce qu'elles permettent d'étudier comment se comportent la résistance et la self-induction effectives lorsque le diamètre du conducteur croît indéfiniment.

L'équation (9) peut en effet s'écrire

$$\frac{dz}{d\beta} + z^2 \left(1 - \frac{1}{\beta z^2}\right) = 0 \tag{9'}$$

ou

$$\frac{dz}{d\beta} - \frac{1}{\beta} (1 - z^2 \beta) = 0. \tag{9''}$$

Lorque β croît indéfiniment, il ne peut se présenter que quatre cas, ou bien βz^2 tend vers 0, ou bien il tend vers une limite finie, ou bien il croît indéfiniment, ou bien il ne tend vers aucune limite, mais en conservant une valeur finie.

Supposons d'abor dl'avant dernier cas réalisé ; pour d'assez grandes valeurs de β, l'équation se réduira sensiblement à

$$\frac{dz}{d\beta} + z^2 = 0,$$

d'où

$$z = \frac{1}{\beta + c}.$$

Lorsque β croît indéfiniment, βz^2 qui est alors égal à $\frac{\beta}{(\beta + C)^2}$ tend vers 0, ce qui est contre l'hypothèse.

Supposons maintenant que βz^2 tende vers 0 quand β croît indéfiniment ; l'équation (9″) nous montre que

seulement de l'exprimer sous une forme qui présente quelque avantage pour les calculs. L'équation (5′) est en effet, en posant

$$\beta . H(\beta) = X$$

une équation de Laplace, dont il est facile de ramener l'intégration à un certain nombre de quadratures, malheureusement compliquées. Mais au point de vue purement analytique, le problème doit être considéré comme résolu et il n'y aurait plus aucune difficulté, une fois la valeur de X obtenue, d'en déduire ξ par conséquent z au moyen des équations (6) et (8).

l'on aurait pour d'assez grandes valeurs de β

$$z = \lg \beta + C$$

et alors $z^2\beta$ croîtrait indéfiniment avec β, ce qui est contre l'hypothèse.

Donc βz^2 tend vers une limite finie lorsque β croît indéfiniment, ou ne tend vers aucune limite ; pour savoir à quoi nous en tenir, posons

$$\beta z^2 = z',$$

d'où

$$\frac{dz'}{d\beta} - \frac{z'}{\beta} + 2(z'-1)\sqrt{\frac{z'}{\beta}} = 0.$$

Il est certain que z' ne croît pas indéfiniment et ne tend pas vers 0. Je dis que z' tend vers l'unité. En effet, l'équation peut s'écrire

$$0 = \frac{dz'}{d\beta} + 2(z'-1)\sqrt{\frac{z'}{\beta}}\left(1 - \frac{1}{2(z'-1)}\sqrt{\frac{z}{\beta}}\right).$$

Si z' ne tendait pas vers 1, $z'-1$ ne tendrait pas nécessairement vers une limite, mais conserverait une valeur finie et par suite

$$\frac{1}{2(z'-1)}\sqrt{\frac{z'}{\beta}}$$

tendrait vers 0.

Donc pour des valeurs suffisamment grandes de β, l'équation se réduirait à :

$$\frac{dz'}{d\beta} + 2(z'-1)\sqrt{\frac{z'}{\beta}} = 0.$$

Posons $z' = z''^2$.

Nous aurons :

$$2z''\frac{dz''}{d\beta} + 2(z''^2-1)z''\sqrt{\frac{1}{\beta}} = 0,$$

d'où

$$\frac{dz''}{z''^2-1}+\frac{d\beta}{\sqrt{\beta}}=0.$$

Ce qui nous donne

$$\frac{z''-1}{z''+1}=\mathrm{C}e^{-4\sqrt{\beta}}.$$

Lorsque β croît indéfiniment, z'' tend vers 1 donc z' aussi, puisque β est essentiellement positif, et par suite il est impossible que z' tende vers une limite finie différente de l'unité, et que z' ne tende vers aucune limite.

Il en résulte que βz^2 tendant vers 1, $z(\beta i)$ tendra vers $\frac{1}{\sqrt{\beta i}}$.

Or

$$\frac{1}{\sqrt{i}}=\frac{1}{\sqrt{2}}(1-i).$$

Donc $z(\beta i)$ tend vers $\frac{1-i}{\sqrt{2}\sqrt{\beta}}$, et par suite y aura pour limite la valeur

$$\lim y=\sqrt{\frac{\beta}{2}}. \tag{13}$$

Nous pouvons faire croître β de deux manières, en faisant croître soit ω soit a au delà de toutes limites. Mais si nous faisons croître ω au delà de toutes limites, la longueur d'onde électrique tend vers 0, et notre équation fondamentale ne s'applique plus.

Toutefois, nous pouvons admettre qu'elle s'applique pour une fréquence de 10^8 périodes, ce qui donnera sensiblement $\omega=6.10^8$.

En prenant un fil de cuivre de 1 millimètre de diamètre, dont la résistance statique est de 20^{ω} par kilo-

mètre, nous pourrons admettre que la résistance effective est donnée par la formule

$$R_1 = 20y = 20\sqrt{\frac{\beta}{2}}.$$

Or,

$$\beta = \frac{6.10^8}{2.10^5} = 3.10^3,$$

donc

$$R_1 = 200\sqrt{30} = 1096^{\omega} \text{ par kilomètre.}$$

Ce qui prouve que le courant pénètre très peu dans le conducteur.

Supposons maintenant que le diamètre du conducteur croisse indéfiniment, la fréquence du courant restant constante. L'aspect de la courbe représentative de la table de Lord Kelvin ne donne aucune indication précise à ce sujet et il est intéressant de savoir s'il n'y a pas, pour une fréquence donnée, une limite inférieure de la résistance effective tandis que la résistance statique tend vers 0 proportionnellement au carré de l'inverse du diamètre.

Or nous avons

$$\beta = \frac{\omega\mu\pi a^2}{\rho}.$$

Nous supposons ici que la seule variable soit a.

$$R_1 = Ry$$

et

$$R = \frac{\rho}{\pi a^2},$$

donc

$$R_1 = \frac{\rho y}{\pi a^2}.$$

Or lorsque β croît indéfiniment, y tend vers la limite

$$\lim y = \sqrt{\frac{\beta}{2}} = a\sqrt{\frac{\omega\mu\pi}{2\rho}}.$$

Par suite R_1 tendra vers la limite

$$(14) \qquad \lim R_1 = \frac{1}{a}\sqrt{\frac{\omega\mu\rho}{2\pi}}.$$

La quantité sous le radical étant une constante finie, R_1 tendra vers 0 quand a croîtra indéfiniment, mais, tandis que pour des valeurs infiniment grandes de a R sera un infiniment petit du deuxième ordre, R_1 ne sera plus qu'un infiniment petit du premier ordre.

Voyons encore, ce que devient la courbe repésentative de la table de Lord Kelvin lorsque x croît indéfiniment.

Nous avons vu que, dans ce cas, on a

$$x = 2\sqrt{\beta}$$

et par suite

$$\lim y = \frac{x}{2\sqrt{2}}.$$

Donc, la courbe représentative a une asymptote dont le coefficient angulaire est

$$\frac{1}{2\sqrt{2}} = 0,35355.$$

Ce coefficient est excessivement voisin de celui que nous avons trouvé dans notre précédent article; ce qui nous porte à admettre que l'on peut sans commettre d'erreur rélative considérable, étendre la formule

$$(15) \qquad y = 0,3541\,x + 0,2614$$

à des valeurs de x supérieures à 20.

On peut même essayer de déterminer plus exactement la position de cette asymptote en adoptant dans la formule (15) le coefficient 0,35355 et s'en servant pour calculer la constante de manière à ce que la

droite ainsi déterminée ne coupe pas la courbe représentative de la table, qui est légèrement concave vers les y positifs.

On trouve ainsi qu'entre les limites

$$x = 5 \quad \text{et} \quad x = 20,$$

la table de Lord Kelvin peut être assez exactement représentée par la formule

$$(16) \qquad y = 0{,}35355x + 0{,}2327 + \frac{0{,}097}{\sqrt{x}}.$$

Comme en témoigne le tableau ci-dessous

x	$\frac{R_n}{R_0}$	y	DIFFÉRENCE	ERREUR relative
5	2,0430	2,0448	+0,0018	+0,00090
5,5	2,2190	2,0185	−0,0005	−0,00025
6	2,3937	2,3936	−0,0001	−0,00004
8	3,0956	3,0954	−0,0002	−0,00007
10	3,7940	3,7988	+0,0058	+0,00153
15	5,5732	5,5609	−0,0123	−0,00222
20	7,3250	7,3254	+0,0004	+0,00001

Cette formule peut probablement être étendue à des valeurs de x bien supérieures à 20.

Des équations (3‴) et (13) on déduit que lorsque β croît indéfiniment, L tend vers la limite

$$(16) \qquad \lim L_1 = L - \frac{\mu}{2}.$$

Ce qui est un résultat intéressant.

E. BRYLINSKI,
Inspecteur - ingénieur.

GÉNÉRALISATION DE LA FORMULE DE GREEN

APPLICATION

A L'ÉTUDE D'UN CHAMP ÉLECTRIQUE (*)

---

§ 1. — Le théorème de Green permet la transformation de certaines intégrales triples en intégrales doubles et s'énonce ainsi :

Soit une surface S limitant un volume U, $F(x, y, z)$ une fonction des coordonnées définie et continue à l'intérieur du volume U, (l, m, n) les cosinus directeurs de la normale à l'élément de surface ds dirigée vers l'intérieur U, on a :

$$\iiint_U \frac{\partial F}{\partial x} d\omega + \iint_S lF ds = 0,$$

et deux autres relations analogues.

Généralisation.

Posons, avec Hamilton :

$$\nabla = i\frac{\partial}{\partial x} + j\frac{\partial}{\partial y} + k\frac{\partial}{\partial z},$$
$$Uv = li + mj + nk.$$

(*) Pour les règles du calcul des quaternions se reporter aux articles de M. Sarrau (*Annales télégraphiques* de 1881).

Remplaçons dans les formules de Green :

$$\frac{\partial}{\partial x}, \quad \frac{\partial}{\partial y}, \quad \frac{\partial}{\partial z}, \quad l, \quad m, \quad n,$$

respectivement par :

$$i\frac{\partial}{\partial x}, \quad j\frac{\partial}{\partial y}, \quad k\frac{\partial}{\partial z}, \quad li, \quad mj, \quad nk.$$

F successivement par les éléments d'un quaternion q, et faisons la somme, il viendra :

$$\text{(I)} \qquad \iiint_{U} \nabla q\,d\omega + \iint_{S} Uv\cdot q\,ds = 0,$$

où q désigne un quaternion quelconque, dont les éléments sont les fonctions définies et continues de x, y, z dans le volume U.

On remarquera que l'identité de Green généralisée (I) permet la transformation d'une intégrale vecteur de surface, en intégrale vecteur de volume, le vecteur étant quelconque.

En effet, le vecteur V donné en chaque point de la surface S pourra toujours se décomposer en deux autres :

L'un, $V_1 = mUv$ suivant la normale m, est un scalar ;

L'autre, $V_2 = V(Uv\sigma)$, dans le plan tangent, σ est un vecteur.

Pour transformer l'intégrale correspondant à V_1, il suffira dans (I) de remplacer le quaternion q par le scalar m.

Pour l'intégrale correspondant à V_2, on remplacera q par le vecteur σ et on prendra le vecteur.

§ 2. — Soit h un vecteur défini dans le champ U ;

s'il est possible de trouver un vecteur V, de la forme $V(\ldots Uvh)$, tel que $\iint V ds$, prise le long d'une sphère infiniment petite, soit à un facteur numérique près égale à la valeur de h au centre de la sphère $O(\alpha, \beta, \gamma)$, on pourra appliquer la transformation (I) à l'espace compris entre S et ε et on aura à la limite :

$$h(\alpha, \beta, \gamma) = \iint_S V(\ldots) ds + \iiint_U V(\ldots) d\omega.$$

Au point de vue géométrique, cette identité pourra être considérée comme une généralisation de la formule de Cauchy dans le plan :

$$2\pi i f(\alpha) = \int \frac{f(x)dx}{x - \alpha}.$$

Nous allons particulariser la fonction $V(\ldots vh)$ pour que l'identité ci-dessus ait une signification physique.

§ 3. — La force exercée sur une masse 1, placée en O, par une masse newtonienne m, placée en M, est, en posant $r = \overline{OM}$:

$$\frac{Ur}{(Tr)^2} m = \nabla \frac{1}{Tr} \cdot m.$$

Une masse laplacienne m_U, placée en M, donnera :

$$V\left(\nabla \frac{1}{Tr} \cdot m_U\right).$$

La résultante des deux actions sera :

$$V\left(\nabla \frac{1}{Tr} \cdot q\right),$$

q étant un quaternion, dont le scalar est la masse newtonienne, le vecteur la masse laplacienne.

Sur une sphère infiniment petite ε de centre $O(\alpha\beta\gamma)$, on a :

$$Ur \equiv Uv,$$

$$\int_\varepsilon V\left(\nabla \frac{1}{Tr} \cdot Uv \cdot h\right) ds = 4\pi h(\alpha\beta\gamma).$$

L'intégrale de surface dont l'élément est :

$$V\left(\nabla \frac{1}{Tr} \cdot Uv \cdot h\right) ds,$$

répond donc aux conditions du paragraphe 2, et on aura l'identité :

$$4\pi h(\alpha, \beta, \gamma) + \iint_S V\left(\nabla \frac{1}{Tr} \cdot Uv \cdot h\right) ds + \iiint_U V(\ldots) d\omega = 0.$$

Il reste à calculer, d'après l'identité (I), l'élément d'intégrale triple.

Nous allons démontrer que pour l'obtenir, il suffit, comme dans l'identité (I), de substituer au Uv de l'élément de surface l'opérateur d'Hamilton ∇.

§ 4. — Au lieu de procéder, comme il a été indiqué au paragraphe 1, il est plus rapide d'appliquer l'identité :

$$V\alpha\beta\gamma = \alpha S\beta\gamma - \beta S\gamma\alpha + \gamma S\alpha\beta,$$

où $\alpha\beta\gamma$ sont trois vecteurs ; donc :

$$V\left(\nabla \frac{1}{Tr} \cdot Uv \cdot h\right) = -UvS\left(\nabla \frac{1}{Tr} \cdot h\right) + \nabla \frac{1}{Tr} \cdot S(hUr) + hS\left(\nabla \frac{1}{Tr} \cdot Uv\right).$$

Pour calculer les éléments d'intégrale triple correspondants aux deux derniers vecteurs, remplaçons

dans (I) q par $\lambda\rho$, λ scalar, ρ vecteur, il vient l'identité :

$$\text{(II)} \quad \iiint_{\mathrm{U}} [\lambda(\mathrm{S}\nabla\rho) + (\mathrm{S}\rho\nabla)\lambda]\,d\omega + \iint_{\mathrm{S}} \lambda\mathrm{S}(\mathrm{U}v\cdot\rho)\,ds = 0,$$

et sous cette forme on voit qu'elle subsiste lorsque λ est un vecteur.

L'élément d'intégrale triple correspondant à l'intégrale de surface $\iint \mathrm{V}(\mathrm{A}\cdot\mathrm{U}v\cdot\mathrm{B})ds$, A et B deux vecteurs quelconques, sera :

$$\begin{aligned} &-\nabla\mathrm{SAB} + \mathrm{A}(\mathrm{S}\nabla\mathrm{B}) + (\mathrm{SB}\nabla)\mathrm{A} \\ &\qquad + \mathrm{B}(\mathrm{S}\nabla\mathrm{A}) + (\mathrm{SA}\nabla)\mathrm{B} \\ = &-\nabla_{\mathrm{A}}\mathrm{SAB} + \mathrm{BS}\nabla\mathrm{A} + (\mathrm{SB}\nabla)\mathrm{A} = \mathrm{V}(\mathrm{B}\nabla_{\mathrm{A}}\mathrm{A}) \\ &-\nabla_{\mathrm{B}}\mathrm{SAB} + \mathrm{AS}\nabla\mathrm{B} + (\mathrm{SA}\nabla)\mathrm{B} \quad + \mathrm{V}(\mathrm{A}\nabla_{\mathrm{B}}\mathrm{B}). \end{aligned}$$

Les dérivations de ∇_{A} portant sur les éléments de A, on applique la première identité du paragraphe 4, en traitant $\nabla_{\mathrm{A}}, \nabla_{\mathrm{B}}$ comme des vecteurs ordinaires, ce qui est légitime.

Dans le cas actuel :

$$\mathrm{A} = \nabla\frac{1}{\mathrm{T}r}, \quad \nabla_{\mathrm{A}}\mathrm{A} = \nabla^2\frac{1}{\mathrm{T}r} = 0,$$
$$\mathrm{B} = h,$$

il vient :

$$\text{(III)} \quad 4\pi h + \iint_{\mathrm{S}} \mathrm{V}\left(\nabla\frac{1}{\mathrm{T}r}\cdot\mathrm{U}v\cdot h\right)ds + \iiint_{\mathrm{U}} \mathrm{V}\left(\nabla\frac{1}{\mathrm{T}r}\cdot\nabla h\right)d\omega = 0.$$

Cette identité exprime le théorème suivant signalé par M. Vaschy :

La champ d'un vecteur quelconque peut être considéré comme la superposition d'un champ de masses newtoniennes et de masses laplaciennes, réparties

dans le volume du champ et sur la surface limite.

Soient :

ρ	la densité de masse	newtonienne	de volume,
σ	id.	id.	de surface,
μ	id.	laplacienne	de volume,
τ	id.	id.	de surface.

on aura, d'après le paragraphe 3 :

$$4\pi\rho + S\nabla h = 0, \qquad 4\pi\mu + V(\nabla h) = 0,$$
$$4\pi\sigma + S(Uv \cdot h) = 0, \quad 4\pi\tau + V(Uv \cdot h) = 0.$$

H. Larose.

Élève ingénieur des télégraphes.

L'ÉLECTRICITÉ

DANS LES CARRIÈRES DE BELGIQUE

Société anonyme des carrières du Hainaut (*).

La transmission électrique de l'énergie a produit dans nombre d'industries des transformations économiques importantes. Les qualités qui justifient ce succès sont la sécurité absolue et le coefficient économique élevé des installations bien comprises de transport de force par l'électricité. Ce mode de distribution permet à toute industrie, dont les engins sont disséminés sur un très grand espace, de centraliser la production de l'énergie et de profiter ainsi des grands progrès économiques réalisés dans la construction des moteurs à vapeur.

L'exploitation des carrières se trouve dans une situation spécialement favorable à l'utilisation rationnelle de ces nouveaux procédés. Les machines servant à l'exploitation des carrières sont généralement situées à de telles distances l'une de l'autre que l'on se voit forcé d'installer à côté de chaque engin un générateur spécial, souvent en plein air et sans précautions contre la condensation. Chaque poste exige la présence continuelle d'un mécanicien-chauffeur. De plus, ces machines, construites avant tout pour résister au travail brutal et irrégulier des carrières, consomment des

(*) Extrait de l'*Électricien*.

quantités de vapeur fabuleuses. Enfin, la quantité de charbon consommé n'est pas proportionnelle au travail utile produit, puisque le fonctionnement de ces machines est essentiellement intermittent.

Ces diverses causes expliquent le chiffre considérable constaté par les industriels carriers : on consomme actuellement plus de 4 kilogrammes de charbon par cheval-heure utile !

Comparons ces vieux procédés avec un mode plus moderne utilisant tous les progrès réalisés dans les sciences mécaniques. Transformons l'énergie de la vapeur en électricité et transportons le courant dans tous les endroits d'utilisation; nous passons par un intermédiaire, qui naturellement absorbera sa part de l'énergie totale. Et quelle sera cette part? Bien faible, comparée à la dépense des machines à vapeur actuelles.

L'énergie électrique sera produite au moyen d'une ou deux machines à vapeur que l'on établira à proximité des exploitations.

Supposons des chaudières vaporisant $8^{kg},5$ par kilogramme de charbon; une bonne machine de 300 chevaux ne prendra pas plus de $6^{kg},5$ de vapeur par cheval indiqué : donc la consommation de charbon par cheval-heure indiqué sera de 765 grammes.

La transformation de l'énergie mécanique de la machine en énergie électrique se fera avec 6 p. 100 de perte, les génératrices devant avoir à pleine charge un rendement industriel de 94 p. 100.

Cette énergie sera transmise par des câbles en cuivre à tous les points d'utilisation. Concédons dans les lignes une perte de 7 p. 100.

La transformation de l'électricité en mouvement

dans la réceptrice absorbera encore 12 p. 100 de l'énergie totale.

En somme, le transport électrique peut se faire avec une perte de 23 p. 100.

Prenons par exemple un moteur de scierie d'une puissance de 20 chevaux.

La machine centrale devra développer pour l'entraîner 30 chevaux effectifs, soit environ 33 chevaux indiqués.

La consommation de charbon, *tous* rendements compris, sera pour 24 heures de 610 kilogrammes.

Elle est en réalité de :

$$20 \times 4 \times 24 = 1.920^{kg}.$$

Il est à remarquer que la génératrice électrique ne prend à la machine centrale qu'une quantité d'énergie proportionnelle au courant qu'elle produit, c'est-à-dire qu'elle ne prend que quelques chevaux, si pendant une heure par exemple, tous les appareils électriques restent sans fonctionner. C'est une source importante d'économie en ce qui concerne les moteurs à fonctionnement intermittent.

A l'économie que l'emploi de l'électricité permet de réaliser, il convient d'ajouter les bénéfices qui résulteront naturellement des nouveaux modes d'exploitation :

1° Suppression du service des charbons. Ce transport est souvent très coûteux, le charbon devant être amené jusqu'au fond des trous d'extraction et quelquefois porté à bras d'hommes jusqu'à l'endroit d'utilisation;

2° Frais multiples de réparation et d'entretien des chaudières et moteurs actuellement en service;

3° Consommation d'huile et de graisse.

Un avantage considérable, que savent apprécier les chefs des services mécaniques, réside dans l'emploi d'une seule qualité d'huile pour tous les moteurs et les transmissions à grande vitesse qui sont munis actuellement de paliers à bagues. Les machines à vapeur exigent souvent quatre graissages différents (huile fine pour le mécanisme de distribution, ordinaire pour les articulations et glissières, noire pour cylindre, consistante pour les Stauffer);

4° Abonnement des propriétaires de chaudières à l'Association. Suppression de nombreuses causes d'accidents;

5° Réduction du personnel des mécaniciens.

Pour les engins à travail brutal, tels que les treuils, l'ouvrier a l'avantage, grâce à l'ampèremètre qu'il a sous les yeux, de pouvoir évaluer l'effort de sa machine; il s'arrête si cet effort atteint la limite de résistance des chaînes; avec les moteurs à vapeur, il était impossible d'évaluer cet effort et les bris de chaînes étaient bien plus fréquents.

La vitesse des machines est constante par l'emploi de l'électricité; antérieurement, le moindre effort du moteur à vapeur faisait tomber la pression, et la régularité du service s'en trouvait affectée.

Les démarrages électriques, permettant de développer momentanément un effort même double de l'effort normal, donnent à l'exploitation une élasticité inconnue dans les autres systèmes.

Ajoutons les inconvénients qui se présentent à la saison d'hiver, arrêts par suite de la gelée des tuyaux; les frais continuels de nettoyage des chaudières et les arrêts forcés; la nécessité de payer des

heures supplémentaires aux mécaniciens qui devaient se trouver à leur poste une heure avant les autres ouvriers et y rester une heure après.

Les moteurs électriques à marche continue, bien réglés et munis de tous leurs appareils de sécurité, peuvent fonctionner sans surveillance. Il est donc possible, en adoptant un tel système de distribution, de supprimer plusieurs postes dans chaque carrière.

Les pompes actionnées par électromoteurs peuvent fonctionner sans surveillance, autre que celle du mécanicien de la station centrale, pour le service de nuit; pendant le jour, il suffit qu'un surveillant passe de temps à autre.

Il est évident qu'une carrière qui possède deux rampes pour remonter les blocs peut n'employer qu'un seul homme pour ce travail; on peut même installer l'atelier de réparation de l'outillage de la carrière à côté du treuil d'extraction, et utiliser l'ouvrier à des travaux de réfection pendant le grand nombre d'heures dont il pourra disposer.

Les moteurs actionnant les scieries sont mis en route par les ouvriers eux-mêmes.

Pour le service des pompes le dimanche, personne n'est nécessaire, les électriciens de la station centrale pouvant mettre les moteurs en charge.

Ces considérations générales donnent une idée de la valeur économique de l'emploi de l'électricité.

La Société anonyme des Carrières du Hainaut, à Soignies, créée le 28 mai 1888, a pour objet le commerce, l'exploitation, la taille et la transformation industrielle des pierres de taille dites « petit granit. »

Ouverte dans le massif sonégien désigné sous le

nom de « Bassin du Nouveau Monde », cette carrière a son exploitation dans la partie la plus riche du gisement calcaire dit « petit granit » de la Belgique (pierres de Soignies, d'Écaussines, etc.).

La pierre que les Carrières du Hainaut exploitent est d'une qualité irréprochable. Elle jouit de toutes les propriétés qui ont valu aux petits granits de Soignies et d'Écaussines leur grande et légitime réputation comme matériaux de construction de premier ordre.

La Société des Carrières du Hainaut exploite un gisement d'une richesse immense sur une superficie de 41 hectares.

La situation de la carrière est exceptionnellement favorable. Grâce aux avantages qui résultent de sa position, — reliée par sa gare privée au chemin de fer de l'État, ligne Amsterdam-Bruxelles-Mons-Paris, — grâce surtout aux nombreux perfectionnements que les progrès de la science lui ont permis d'utiliser, les Carrières du Hainaut ont pris un développement considérable.

Un personnel judicieusement choisi assure l'exécution rapide, exacte et ponctuelle des commandes. Les soins exceptionnels apportés à l'exécution des ordres, lui ont valu une place prépondérante sur le marché tant en Belgique qu'à l'étranger.

La carrière exploitée par cette Société est la plus vaste et la plus importante carrière de petit granit de la Belgique.

Les chiffres suivants indiquent la marche sans cesse ascendante de son extraction :

En 1888, le cube extrait était de	4.800^{m3};	elle occupait	150	ouvriers.
En 1889, —	10.250^{m3};	—	220	—
En 1890, —	12.100^{m3};	—	290	—
En 1891, —	14.050^{m3};	—	350	—
En 1892, —	15.600^{m3};	—	425	—
En 1893, ·	17.550^{m3};	—	500	—
En 1894, le chiffre a dépassé	19.000^{m3};			

Des installations de transport de force par l'électricité ont été appliquées pour la première fois en Europe, dans l'industrie des carrières, par la Société anonyme des Carrières du Hainaut. Inaugurées en 1893, ces installations sont à l'heure actuelle les plus grandes et les plus complètes du pays.

En 1892, la Société a remplacé ses nombreux moteurs à vapeur par une seule machine Sulzer compound (construction Carels frères, à Gand). Cette machine unique, d'une puissance de 300 chevaux-vapeur, actionne directement les scieries ainsi que les deux dynamos génératrices fournissant l'éclairage et l'énergie électrique aux pompes, cabestans, treuils, grues, ponts roulants, etc.

Les bâtiments des scieries, d'une longueur de plus de 100 mètres, comprennent vingt-trois armures fonctionnant nuit et jour et débitant des blocs dont les dimensions peuvent atteindre 4 mètres de hauteur.

Plus de 350 mètres cubes de pierre sont constamment sous scies dans les armures.

En outre, quatre fils hélicoïdaux doubles découpent les blocs et permettent d'activer encore le travail de la scierie et de répondre aux demandes les plus urgentes de la clientèle.

Un pont roulant, d'une puissance de 60 tonnes, assure le service du déchargement des gros blocs à leur sortie du trou ou centre d'extraction, ainsi que leur chargement sur wagons.

Les vastes chantiers des Carrières du Hainaut sont sillonnés en tous sens de voies de chemin de fer aboutissant à la gare privée de l'exploitation d'où partent directement des trains complets.

Le service de la traction intérieure est assuré par trois grues locomobiles à marche rapide.

Le service de la carrière nécessite l'emploi de 31 forts chevaux de trait.

Les usines, ateliers et dépendances sont éclairés par deux cents lampes à incandescence de 16 et 32 bougies. L'éclairage des chantiers et du fond d'extraction est assuré par dix lampes de 12 ampères et quatre lampes à arc de 30 ampères.

La pierre de taille, « petit granit, pierres de Soignies ou d'Écaussines », recouverte d'une couche de terre de 5 à 20 mètres, suivant les variations du sol, est disposée par bancs ou assises d'épaisseur différente inclinés avec une légère pente, — 16 à 18 centimètres par mètre, — vers le sud.

La bonne pierre exploitable atteint une hauteur de plus de 30 mètres. Elle s'extrait en blocs de toutes dimensions, d'un volume énorme, dépassant parfois 40 mètres cubes, ce qui représente un poids de plus de 100.000 kilogrammes.

Elle offre à l'écrasement une résistance de 800 kilogrammes par centimètre carré.

Sa teinte est uniforme, d'une couleur bleuâtre, variant suivant le genre de taille qu'on lui donne.

La première installation électrique, exécutée en mars 1893, en vue de fournir l'éclairage en même temps que la force motrice, comporte une génératrice compound à quatre pôles, système Lahmeyer, donnant, à la vitesse de 525 tours, 420 ampères sous 120 volts.

Les essais faits sur cette machine par l'auteur, dans les ateliers d'Aix-la-Chapelle, ont accusé un rendement de 92 p. 100.

Les moteurs installés en même temps que cette machine entraînent l'un un treuil à tirer les pierres, l'autre une pompe. Ces deux moteurs sont installés dans une même salle. Ils communiquent, par courroie, leur mouvement à deux arbres de transmission intermédiaires à 300 tours, placés dans le prolongement l'un de l'autre. Cette disposition permet, en cas d'accident à l'un des moteurs, de faire fonctionner l'un des engins au moyen du moteur de l'autre par le simple couplage des plateaux-manchons.

Le moteur de la pompe, d'une puissance de 14 chevaux, est à 4 pôles et tourne à la vitesse de 650 tours. Son rendement est de 87 p. 100; il actionne une pompe Weise et Monski faisant 24 tours par minute. L'effort étant très inégal, on a installé sur le moteur une poulie à tore et sur la transmission deux volants d'un mètre de diamètre. La pression de refoulement est de 2,1 atmosphères. Ce moteur, qui tourne toujours dans le même sens, est muni de balais métalliques et d'un rhéostat simple.

Le second moteur actionne un treuil destiné à accomplir la première phase du travail d'extraction. Le gisement, composé de couches atteignant parfois 3 mètres d'épaisseur, est coupé en blocs de dimensions différant suivant les besoins; cette séparation s'exécute en taillant, suivant une ligne tracée, des trous distants de 40 en 40 centimètres préparés pour recevoir des coins en fer. Les ouvriers frappent en cadence sur les têtes de ces coins et provoquent ainsi la séparation du bloc de la masse. Cette séparation,

dans les bons gisements, se fait suivant un plan vertical passant par la ligne des trous préparés et sur toute l'épaisseur de la couche. On introduit alors des coins plus gros pour dégager graduellement le bloc. Il est inutile de faire intervenir à ce moment le travail du moteur électrique : les chaînes et câbles attachés au bloc se briseraient sans amener aucun résultat. Le travail de dégagement est assez long et exige des ouvriers habiles et prudents, sachant manier alternativement et avec sûreté les puissances énormes du coin, du levier, de la vis (vérin) et du cric.

Le bloc se trouvant ainsi dégagé, on l'entoure d'une chaîne ou bien on attache, en l'un de ses points, un crochet en fer solidement fixé et sur lequel puisse s'exercer la traction de la chaîne.

Ici commence le rôle du moteur électrique. Comme il est dit plus haut, ce moteur, de 180 ampères sous 110 volts à 650 tours, et d'un rendement de 83 p. 100, actionne une transmission à 300 tours. Le mouvement est renvoyé à un axe à 100 tours, muni d'une vis sans fin s'engageant dans un engrenage hélicoïdal. Deux pignons droits, permettant de réaliser deux vitesses, sont calés sur le même arbre et entraînent un tambour de 80 centimètres de diamètre. Ce treuil est construit par la maison Baillion et Cuvelier d'Écaussines. Sur le tambour du treuil, s'enroule une corde (âme en chanvre, 6 torons d'acier) de 5 centimètres de diamètre total, dont l'extrémité s'attache aux chaînes fixées à la pierre.

Le bloc est le plus souvent traîné à travers la carrière directement sur le sol. Les grosses pierres, atteignant un poids de 60 tonnes, sont traînées sur des rouleaux en bois de 20 à 30 centimètres de diamètre. La

vitesse d'avancement est de 2 mètres par minute. On conçoit à quel effort irrégulier est soumis un moteur devant exécuter un pareil travail. La nécessité d'un interrupteur automatique bien réglé saute aux yeux dans ce cas. Cependant, l'habileté des ouvriers, spécialement attachés à cette besogne, est telle que, bien rarement, l'interrupteur automatique fonctionne. Le moteur est muni de balais en charbon cuivré; son rhéostat métallique est simple. Le renversement du sens de rotation se fait en décalant de 90° le croisillon porte-balais.

Le bloc, traîné par ce moteur au bas de la rampe d'extraction, est tiré sur un wagon qu'un autre moteur, dont nous parlerons plus loin, reprend pour l'amener dans les chantiers.

La deuxième installation, exécutée en mars 1894, a été confiée à la Compagnie internationale d'électricité de Liège, dirigée par M. H. Pieper. Elle comprend une génératrice de 100 kilowatts, débitant 800 ampères sous 125 volts à la vitesse de 470 tours, plus trois moteurs.

Des connexions spéciales, établies entre les deux tableaux de distribution, permettent d'actionner l'éclairage et tous les moteurs par chacune des deux génétratrices (dans la limite naturellement de leur puissance).

L'un des moteurs, de 300 ampères, a un rendement de 88 p. 100; il est situé à 75 mètres de la génératrice et entraîne, par courroie, un treuil Baillion et Cuvelier à trois vitesses. Les réductions de mouvement ne se font plus par vis tangente, mais directement, avec engrenages à chevrons, puis engrenages droits.

La rampe a une longueur de 105 mètres et une

pente de 34 centimètres par mètre; avec les différentes vitesses, on remonte : une charge de 12 tonnes en 5 minutes; 25 tonnes en 8 minutes; 60 tonnes en 18 minutes. L'appareil est muni d'un frein très puissant permettant l'arrêt instantané de la machine en cas d'accident à la partie électrique.

Dans le fond de la carrière, à 200 mètres de la génératrice, est installé un deuxième moteur Pieper, pour le traînage des blocs; c'est un moteur bipolaire marchant à 800 tours et absorbant 200 ampères sous 120 volts; son rendement atteint 88 p. 100; il attaque, par courroie, l'arbre de la vis sans fin, sans transmission intermédiaire.

Le troisième moteur de cette dernière installation (30 ampères, 120 volts) actionne le pont roulant de 10 tonnes du magasin de pierres sciées, à 150 mètres de la génératrice. C'est un moteur à 1.000 tours actionnant, par courroie, la poulie motrice de la grue.

Tous ces moteurs sont enroulés en dérivation. Ils sont tous munis de rhéostats à renversement de marche.

Le rhéostat du pont roulant porte deux séries de plots. Pour les deux autres moteurs, le renversement du courant se fait par un levier spécial; une disposition mécanique intéressante empêche le mécanicien de renverser le courant sans passer par la touche zéro. La perte concédée dans les lignes est de 7 p. 100, de sorte que le rendement moyen de l'installation est $0,92 \times 0,93 \times 0,88$, soit 75 p. 100.

Félix LECONTE.

CHRONIQUE.

Sur la conductibilité des mélanges de limailles métalliques et de diélectriques.

Note de M. G.-T. Lhuillier (*Extrait.*)

Dans le but d'expliquer les phénomènes découverts par M. E. Branly (*), plusieurs hypothèses ont été émises : l'une par M. O. Lodge (**), les autres par M. E. Branly lui-même (***).

La présente note a pour objet de faire connaître quelques faits nouveaux, qui conduisent à une nouvelle explication.

I. *Mélanges placés dans des tubes de verre.* — Ces mélanges contenaient de la limaille de cuivre, d'aluminium ou de fer, et des diélectriques solides ou liquides. Les tubes pouvaient être introduits, soit dans un circuit comprenant un Daniell et un galvanomètre Weber, soit dans l'induit d'une bobine de Ruhmkorff, soit enfin dans l'une des branches d'un pont de Wheatstone.

La chaleur peut rétablir la conductibilité détruite dans un mélange solide par un choc ou par un induit voisin, ce qui ne s'est jamais produit avec des diélectriques liquides. Dans quelques-uns de ces derniers, la conductibilité détruite par une faible élévation de température reparaît spontanément.

Un choc, quelquefois très faible, annule la conductibilité dans le cas des liquides; mais avec quelques-uns, un choc ultérieur la peut rétablir.

Un courant induit peut détruire la conductibilité d'un tube voisin rempli de limaille et de soufre, ce qui ne se produit pas si le tube est isolé à l'intérieur d'une enveloppe métal-

(*) *Comptes rendus*, t. CXI, p. 785, et t. CXII, p. 90.
(**) *Philosophical Magazine*, 5e série, p. 94; janvier 1894.
(*** *Comptes rendus*, t. CXVIII, p. 348.

lique. La conductibilité ainsi supprimée peut reparaître spontanément, quelquefois après plus de quinze jours.

Le déplacement de l'une des substances, limaille ou diélectrique liquide, peut se faire sans détruire la conductibilité, mais aussi sans la produire : la limaille de fer peut être déplacée dans l'alcool à l'aide d'un aimant, sans que la conductibilité disparaisse; elle est seulement un peu modifiée, tandis qu'elle est annulée par un très faible choc. De même, le déplacement de la limaille par un aimant, dans un sens quelconque, n'a pas rétabli la conductibilité.

Si le diélectrique joue un rôle actif, il ne le joue que sur une très faible épaisseur. Chaque grain de limaille doit être considéré comme emprisonné dans une très mince gaîne de liquide qui adhère, par capillarité, à la gaîne voisine. Alors, la substitution d'un autre liquide, identique ou différent, mais sans action sur le premier, laissera l'équilibre primitif intact, et il en sera de même de la conductibilité. Dans le cas contraire, l'équilibre primitif étant rompu, la conductibilité disparaîtra.

Conclusion. — Le diélectrique ne devient pas conducteur, même sous une épaisseur inférieure à 1μ, et les gaînes primitivement considérées ne jouent qu'un rôle mécanique.

Dans le cas des diélectriques organiques, la conductibilité est établie concurremment par des particules mécaniques entraînées et par des particules de carbone provenant de la décomposition du diélectrique; dans le cas du soufre, elle l'est par les premières seules (*).

(*Comptes rendus*).

Communications téléphoniques avec les gares de marchandises en Bavière.

Actuellement, 36 gares de marchandises bavaroises sont reliées aux réseaux urbains de leurs localités respectives, et dans 6 localités seulement le raccordement avec le réseau

(*) Ce travail a été exécuté au Prytanée militaire.

téléphonique n'a pas encore eu lieu. Les 36 gares actuellement pourvues du téléphone sont celles de : Amberg, Ansbach, Aschaffenburg, Augsbourg, Bad Kissingen, Bad Reichenhall, Bamberg, Bayreuth, Berchtesgaden, Bruck (Fürstenfeld), Erlangen, Feldafing, Freising, Fürth, Hof, Kaiserslautern, Kitzingen, Kulmbach, Lambrecht, Landhut, Lindau i. B., Ludwigshafen sur le Rhin, Munich, Neustadt a. H., Nuremberg, Pasing, Passau, Ratisbone, Rosenheim, Roth a. S., Schwabach, Schweinfurth, Spire, Starnberg, Tutzing et Würzburg.

(*Elecktrotechnische Zeilschrift*).

L'Éditeur-Gérant : Vve Ch. Dunod et P. Vicq.

PARIS. — IMP. E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1895 Novembre-Décembre

ÉTUDE THÉORIQUE DU RÉGULATEUR BAUDOT

AU POINT DE VUE DE LA MÉCANIQUE RATIONNELLE

L'étude du régulateur Baudot suggère divers problèmes de mécanique rationnelle, que je me propose d'examiner ici; ils me paraissent de nature à bien mettre en lumière le fonctionnement du mécanisme et les causes des diverses particularités observées.

I. *Description sommaire.* — Je supposerai, dans ce qui suit, ce régulateur de vitesse parfaitement connu du lecteur qui a pu en voir la description dans le *Traité de télégraphie électrique* de M. H. Thomas (Baudry et Cie, éditeurs, 1894). L'auteur s'exprime ainsi :

« La vitesse de rotation du *distributeur* doit être maintenue absolument uniforme. Le régulateur a pour but, en vue d'arriver à ce résultat, de maintenir

l'équilibre parfait entre le travail moteur et le travail résistant, quelles que soient les variations qui se produisent dans ce travail, soit par suite du fonctionnement des organes, soit pour toute autre cause. Le régulateur Baudot qui s'adapte sur le dernier mobile du mouvement d'horlogerie se compose d'une masse M susceptible de glisser le long de deux tiges t (*fig.* 1, 2, 3, 4). Ces tiges sont adaptées à une pièce A en

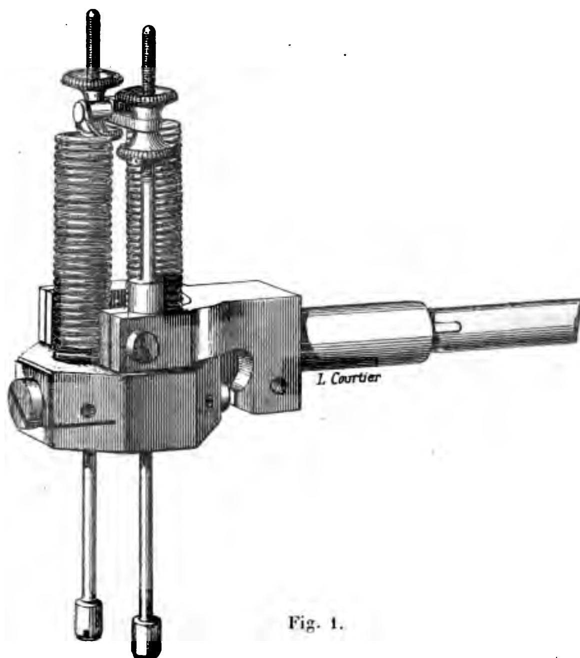


Fig. 1.

forme de fourchette, solidaire d'un manchon dans lequel s'engage l'extrémité de l'arbre du mouvement d'horlogerie. A la masse sont accrochés deux forts ressorts à boudin R destinés à la ramener vers le centre de rotation lorsqu'elle s'en écarte. Ils sont fixés

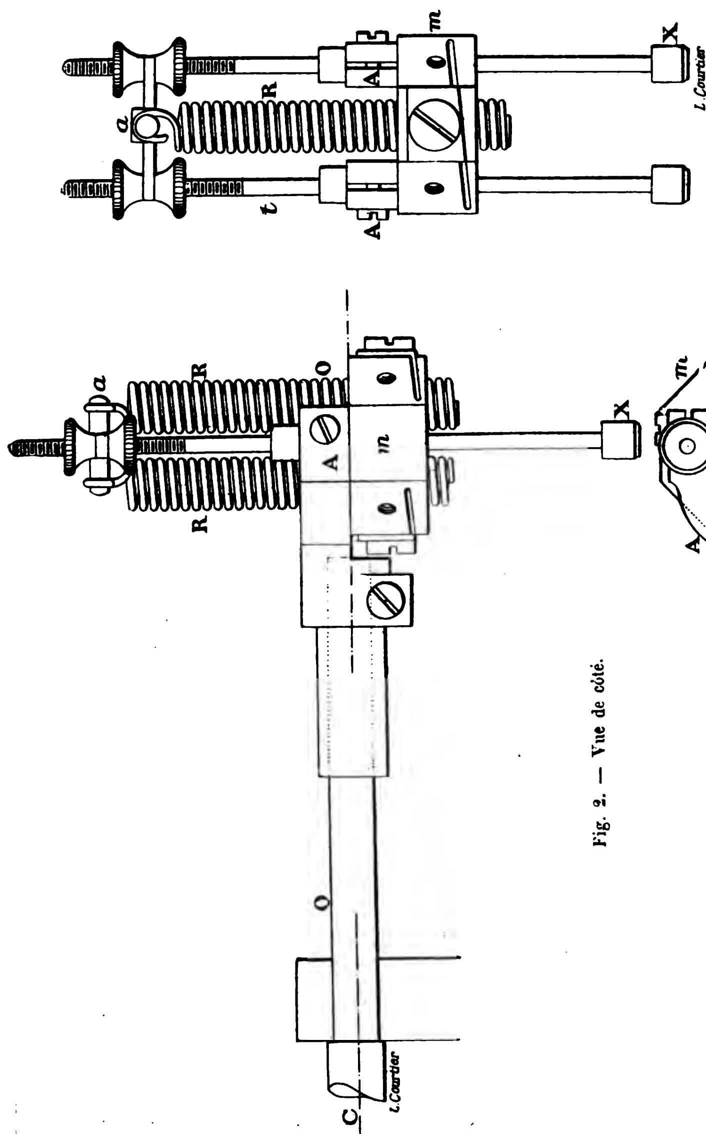


Fig. 4 — Vue de face.

Fig. 2. — Vue de côté.

Fig. 3. — Vue de dessus.

par leur autre extrémité à une petite potence rendue solidaire des tiges guides par deux écrous.

« Quand l'appareil est en mouvement, le moteur tend à accélérer la vitesse qui augmente jusqu'à ce que la force centrifuge agissant sur la masse dépasse la tension des ressorts. Elle s'écarte alors du centre de rotation en agissant sur ces ressorts. La traction exercée par ceux-ci sur la potence se transmet à l'axe qui appuie sur son palier et augmente le travail dépensé par le frottement.

« On voit que, quand le travail moteur tend à dépasser le travail résistant, la force centrifuge étant accrue, la masse tire de plus en plus sur les ressorts en s'écartant du centre de rotation jusqu'à ce que le travail résistant ait été suffisamment augmenté. Quand c'est, au contraire, le travail résistant qui s'accroit, la force centrifuge diminue et les ressorts ramènent la masse vers le centre, jusqu'à ce que les résistances opposées au mouvement par le frottement de l'axe aient suffisamment diminué.

« Les déplacements de la masse, en rétablissant constamment l'équilibre entre le travail moteur et le travail résistant assurent le mouvement uniforme de l'appareil. La vitesse de ce mouvement uniforme est d'ailleurs la même, quel que soit le rayon du cercle décrit par le centre de gravité de la masse. En effet, un resort à boudin bien fait subit des allongements directement proportionnels aux efforts qu'il supporte. D'autre part, lorsqu'une masse est animée d'un mouvement de rotation, si la vitesse reste constante, la force centrifuge varie proportionnellement au rayon de la circonférence qu'elle décrit. On peut donc concevoir une vitesse angulaire de la masse pour laquelle

la force centrifuge et la tension des ressorts se fassent constamment équilibre, quel que soit le déplacement de la masse le long de ses tiges. »

Lorsque le moteur est un moteur à poids, l'arbre du régulateur èst un arbre intermédiaire ; lorsque le moteur est un moteur magnétoélectrique, le régulateur est calé sur un axe supplémentaire. Dans le premier cas, le remontage automatique par un petit moteur Doignon dépense 16 watts ; dans le second cas, la marche du distributeur consomme moins de 1 watt, savoir 50 milliampères avec 18 volts aux bornes. On voit ainsi quel est l'ordre de grandeur de la puissance qu'il s'agit de régulariser. La masse mobile a 36 grammes-masses. Lorsque le bras porte-balais fait 180 tours à la minute, le nombre de tours du régulateur est de 2.100 pour le cas du moteur à poids et de 1.800 pour le cas du moteur magétoélectrique. Dans le premier cas, les deux ressorts s'allongent simultanément de 2 centimètres sous une traction de $3^{kg},950$; dans le second, ils s'allongent de cette même quantité sous une traction de $2^{kg},900$.

J'appelle m la masse mobile, C le moment moteur qui agit sur l'arbre (O,O) du régulateur, et OX l'axe fictif perpendiculaire à l'arbre O,O, le long duquel peut coulisser la masse m grâce aux deux tiges t. Je ferai enfin remarquer que l'on peut encastrer dans la masse m un plus ou moins grand nombre de spires des ressorts R. Cela posé, on trouvera aisément, sans que j'aie à y insister, les analogies entre le mécanisme véritable et les questions traitées ici.

II. *Oscillation de la masse sur le bras* OX, *en négligeant le frottement.* — Je vais d'abord étudier

le problème suivant : une tige indéfinie X'OX tourne dans le plan de la figure autour du point O avec une vitesse angulaire ω uniforme. Une masse m peut se

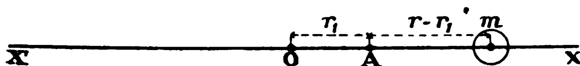


Fig. 5.

déplacer le long de cette tige ; elle est attirée par un point A de la tige OX située à une distance r_1 de l'axe O, proportionnellement à la distance $r-r_1$. A l'origine des temps, le point matériel m, placé sur ox à une distance r_0 de l'axe O est lancé avec une vitesse initiale v_0. On demande la loi du mouvement de m sur la tige X'OX. On néglige le frottement. (Je ferai aussi abstraction de la pesanteur.)

Les seules forces qui agissent alors sur le point matériel m sont, d'une part, l'attraction $-k(r-r_1)$ exercée par le point A et, d'autre part, la réaction normale N de la tige sur m. Je suppose que la rotation ait lieu dans le sens des angles croissants du cercle trigonométrique et que N soit comptée positivement dans le même sens. Au surplus, j'admettrai qu'on ait choisi pour direction positive de l'axe OX la semi-droite sur laquelle se trouve au début le point matériel m ; ainsi donc r_0 sera supposé positif.

Le théorème des forces vives dans le mouvement relatif donne immédiatement l'équation :

$$(1) \quad \frac{1}{2} m(v^2 - v_0^2) = -\int_{r_0}^{r} k(r-r_1)dr + \frac{1}{2} m\omega^2(r^2 - r_0^2).$$

D'autre part, le théorème de Coriolis donne :

$$(2) \qquad N = 2m\omega v.$$

Il s'agit d'intégrer l'équation (1) qui peut s'écrire :

$$(3)\ dt = \frac{dr}{\sqrt{r_0^2+(r-r_0)\left[\left(\omega^2-\frac{k}{m}\right)r+\omega^2 r_0-\frac{k}{m}(r_0-2r_1)\right]}};$$

la quantité sous radicale est un trinôme du second degré en r. Il serait facile d'avoir l'intégrale en termes finis; je me dispenserai cependant de cette recherche et je me contenterai de discuter cette équation (3).

Discussion. — La variable r ne peut prendre que des valeurs rendant positif le trinôme sous radical. Le discriminant Δ de ce trinôme a pour expression :

$$\Delta = \frac{k^2}{m^2}r_1^2 - \left(\omega^2-\frac{k}{m}\right)\left[v_0^2-\omega^2 r_0^2-\frac{k}{m}r_0(2r_1-r_0)\right],$$

ou

$$\Delta = \left[\left(\omega^2-\frac{k}{m}\right)r_0+\frac{k}{m}r_1\right]^2 - v_0^2\left(\omega^2-\frac{k}{m}\right).$$

Deux cas peuvent alors se présenter, suivant le signe de $\omega^2-\frac{k}{m}$ (*).

1er *Cas.* $\omega^2-\frac{k}{m}<0$. Alors Δ est toujours positif et le trinôme sous radical peut se mettre sous la forme :

$$\left(\omega^2-\frac{k}{m}\right)(r-r')(r-r'').$$

La masse m part du point r_0 avec la vitesse v_0 et atteint l'une des deux limites $(r=r')$ ou $(r=r'')$ en un temps qui est fini, l'intégrale $\int_{r_0}^{r'}\frac{dr}{\sqrt{r-r'}}$ ayant

(*) Si on a $m\omega^2>k$, c'est que aux grandes distances la force centrifuge qui écarte la masse m prévaut contre l'attraction du centre de force A; si on a $m\omega^2<k$, c'est que, dans les mêmes conditions, l'attraction l'emporte sur la force répulsive apparente due à l'inertie.

une valeur finie. Cela résulte du théorème de la moyenne, le facteur $\left(\omega^2 - \frac{k}{m}\right)(r - r'')$, ne changeant pas de signe. Le point matériel m atteint cette position limite avec une vitesse relative v nulle; puis, r devant rester entre les racines r' et r'' du trinôme sous radical, le mouvement de m sur sa tige change de sens et la masse oscille entre les deux distances r' et r''.

2e *Cas.* $\omega^2 - \frac{k}{m} > 0$. Alors Δ peut, suivant le cas, être positif ou négatif; cela dépend de la grandeur relative de v_0. Si on a $\Delta > 0$, r doit être extérieur aux racines. Pour savoir les positions de r par rapport aux racines, il suffit d'examiner la position relative de r_0 et de la demi-somme des racines. Cette demi-somme a pour expression $\dfrac{-\frac{k}{m} r_1}{\omega^2 - \frac{k}{m}}$. Supposons que l'on ait :

$$\frac{-\frac{k}{m} r_1}{\omega^2 - \frac{k}{m}} > r_0, \qquad \text{ou} \qquad m\omega^2 r_0 < k(r_0 - r_1),$$

c'est-à-dire que, dans la position initiale, la force centrifuge soit inférieure à l'attraction de A, r décroîtra jusqu'à $-\infty$. D'ailleurs, si v_0 est positif, r croîtra d'abord, puis après avoir passé par un maximum coïncidant avec la plus petite des deux racines, r' ou r'', il décroîtra ensuite jusqu'à $-\infty$.

Semblablement, si on a :

$$m\omega^2 r_0 > k(r_0 - r_1),$$

c'est-à-dire si, dans la position initiale, la force cen-

trifuge l'emporte sur l'attraction de A, r croîtra jusqu'à $+\infty$. Il croîtra directement jusqu'à $+\infty$, si v_0 est positif, mais, si v_0 est négatif, r passera d'abord par un minimum coïncidant avec la plus grande des deux racines r' et r''.

Si on a $\Delta < 0$, alors le trinôme conserve le signe de son premier terme, qui est positif et la masse m s'éloigne jusqu'à l'infini dans le sens de la vitesse v_0.

En résumé, lorsque, aux grandes distances, la force centrifuge l'emporte sur l'attraction de A, la masse m s'écarte à l'infini.

L'équation (2) donne N, quand la loi du mouvement a été déterminée. La réaction $-$N de la masse m sur la tige est uniquement due à la force centrifuge composée. On voit ainsi ce qui, dans le cas présent, la distingue d'un effet de volant. Un pareil effet ne saurait d'ailleurs se produire, puisque la vitesse de rotation est supposée constante.

Cas particuliers. — Pour que la masse m placée en m_0 sans vitesse initiale ($v_0 = o$), y reste en équilibre relatif, il faut que $r = r_0$ soit solution de l'équation différentielle du problème; cette équation différentielle est :

$$-m\frac{d^2r}{dt^2} + m\omega^2 r - k(r - r_1) = 0,$$

et on voit que $r = r_0$ sera solution, si on a :

$$v_0 = 0 \quad \text{et} \quad m\omega^2 r_0 = k(r_0 - r_1)$$

ce qui signifie que, dans la position où la masse se trouve placée, il y a équilibre entre la force centrifuge et l'attraction du point A.

Pour que cet équilibre ait lieu, quelle que soit la position donnée à la masse, c'est-à-dire quel que

soit r_1, il faut que l'on ait :

$$m\omega^2 = k \quad \text{et} \quad r_1 = 0.$$

III. *Oscillations de la masse sur le bras* OX, *en tenant compte du frottement.* — Je vais maintenant supposer qu'on ne puisse pas négliger le frottement de la masse m sur la tige guide X'OX. Soit f la tangente de l'angle de frottement. La réactiou normale $N = 2m\omega v$ donnera lieu à la force de frottement $-Nf = -2mf\omega v$, dirigée en sens inverse du mouvement relatif. L'équation du mouvement relatif sera alors :

$$(4) \qquad m\frac{d^2r}{dt^2} + 2mf\omega\frac{dr}{dt} + k(r - r_1) - m\omega^2 r = 0.$$

Si, changeant de variable, je pose :

$$(5) \qquad x = r - \frac{k}{m}\frac{r_1}{\frac{k}{m} - \omega^2},$$

ce qui revient à prendre pour nouvelle origine le point situé au milieu du segment déterminé par les extrémités des segments r' et r'' du problème précédent, cette équation se réduira à la suivante :

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2f\omega\frac{dx}{dt} + \left(\frac{k}{m} - \omega^2\right)x = 0.$$

L'intégration dépend de l'équation caractéristique

$$X^2 + 2f\omega X + \frac{k}{m} - \omega^2 = 0,$$

et les exponentielles figurant dans la solution seront réelles ou imaginaires suivant le signe du discriminant δ qui a pour expression :

$$\delta = (1 + f^2)\omega^2 - \frac{k}{m} = \frac{1 + f^2}{m}\left(m\omega^2 - \frac{k}{1 + f^2}\right).$$

La discussion qui dépendait du signe $m\omega^2 - k$, va donc actuellement dépendre du signe de $m\omega^2 - \frac{k}{1+f^2}$.

Si on a

$$\delta < 0,$$

et que pour $t = 0$ on ait $r = r_0$, $\frac{dr}{dt} = v_0$, la solution sera donnée par la formule :

$$(6)\quad r + \frac{k}{m}\frac{r_1}{\omega^2 - \frac{k}{m}} = e^{-f\omega t}\left[\frac{v_0 + f\omega\left(r_0 + \frac{k}{m}\frac{r_1}{\omega^2 - \frac{k}{m}}\right)}{\sqrt{\frac{k}{m} - (1+f^2)\omega^2}} \sin t\sqrt{\frac{k}{m} - (1+f^2)\omega^2} + \left(r_0 + \frac{k}{m}\frac{r_1}{\omega^2 - \frac{k}{m}}\right)\cos t\sqrt{\frac{k}{m} - (1+f^2)\omega^2}\right].$$

Si on a

$$\delta > 0,$$

avec les mêmes conditions initiales, la formule devient:

$$(7)\quad r + \frac{k}{m}\frac{r_1}{\omega^2 - \frac{k}{m}} = e^{-f\omega t}\left[\frac{v_0 + f\omega\left(r_0 + \frac{k}{m}\frac{r_1}{\omega^2 - \frac{k}{m}}\right)}{\sqrt{(1+f^2)\omega^2 - \frac{k}{m}}} \mathrm{s^n h^p}\, t\sqrt{(1+f^2)\omega^2 - \frac{k}{m}} + \left(r_0 + \frac{k}{m}\frac{r_1}{\omega^2 - \frac{k}{m}}\right)\mathrm{c^{\cdot} h^p}\, t\sqrt{(1+f^2)\omega^2 - \frac{k}{m}}\right].$$

Discussion. — Dans le premier cas, $\delta < 0$, r tend vers la position limite

$$r = -\frac{k}{m}\frac{r_1}{\omega^2 - \frac{k}{m}}.$$

pour laquelle la force centrifuge est égale à l'attraction de A.

Dans le second cas, $\delta > 0$, il y a faire deux hypothèses. 1° $\frac{k}{m} - \omega^2 > 0$, alors les deux racines de l'équation caractéristique sont de même signe, et comme leur demi-somme est négative $(-f\omega)$, elles sont toutes les deux négatives. Par suite la masse m tend vers la même position d'équilibre que dans le premier cas. 2° $\frac{k}{m} - \omega^2 < 0$, alors les deux racines étant de signes contraires, l'exposant de l'une des exponentielles est positif et par conséquent r tendra vers l'infini avec le temps.

En résumé, le rôle du frottement est de donner pour loi du mouvement celle du mouvement amorti qui se rencontre dans l'étude du galvanomètre et des appareils de synchronisation électromagnétique (*).

Quand on étudie les oscillations de la masse mobile du régulateur Baudot le long des tiges guides, on peut aisément, dans le cas d'un mouvement de rotation uniforme, tenir compte de la pesanteur.

Dans l'équation différentielle déjà écrite :

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2f\omega\frac{dx}{dt} + \left(\frac{k}{m} - \omega^2\right)x = 0,$$

il y a lieu, si l'on tient compte de la pesanteur et qu'on néglige le frottement, de supprimer le terme

(*) Pour que la masse m placée en m_0 y reste, il suffit que $r = r_0$ soit solution de l'équation différentielle (4). Pour que l'on ait $r = r_0$ quel que soit t, on devra avoir tout d'abord $\frac{dr}{dt} = 0$, $\frac{d^2r}{dt^2} = 0$; d'où $\left(\frac{dr}{dt}\right)_0 = v_0 = 0$ et ensuite, en vertu de l'équation différentielle : $m\omega^2 r_0 = k(r_0 - r_1)$. Cette position pourra cependant n'être qu'une position d'équilibre instable, si on a $m\omega^2 > k$.

dépendant de f et d'ajouter un second membre : $g \cos(\omega t - \alpha)$.

A l'intégrale de l'équation sans second membre, il conviendra d'ajouter l'intégrale particulière de période $\frac{2\pi}{\omega}$, savoir :

$$x = \frac{g}{\frac{k}{m} - 2\omega^2} \cos(\omega t - \alpha).$$

Si l'on veut tenir compte du frottement, il faut remarquer que la force de frottement due à la pesanteur est $+fmg \sin(\omega t - \alpha)$, à droite de la verticale, et $-fgm \sin(\omega t - \alpha)$ quand la masse mobile est à gauche de la verticale. La composante $mfg \sin(\omega t - \alpha)$ devrait donc être multipliée par un facteur alternativement égal à $+1$, 0 et -1. Bien que la série de Fourier permette d'introduire un facteur périodique de cette nature sous forme de sinus et de cosinus, je m'abstiendrai de cette recherche qui ne conduit pas à un résultat simple.

IV. *Équations du mouvement lorsque la rotation n'est pas uniforme.* — Les équations précédentes du mouvement de la masse M sur la tige X′OX ne sont pas celles du mouvement de la masse mobile du régulateur Baudot, puisque nous y avons admis que la rotation était uniforme, tandis qu'au contraire, dans le régulateur, les déplacements de la masse ont justement pour objet de ramener la vitesse à une valeur déterminée lorsqu'une variation accidentelle se produit ou que le couple moteur éprouve quelque modification.

La masse agit, à cet égard, de deux manières bien différentes : 1° indirectement, en s'écartant de l'axe, ce qui produit une tension des ressorts, tension qui

amène à son tour par réaction l'effet cherché, à savoir une variation correspondante du travail du frottement de l'axe entre ses coussinets; c'est un effet de freinage; 2° directement, par la réaction normale de la masse sur la tige.

L'action N de la tige sur la masse, comptée dans le sens du mouvement, a pour expression :

$$N = mr \frac{d\omega}{dt} + 2m\omega \frac{dr}{dt}. \tag{8}$$

La réaction de la masse sur la tige est égale à $-N$ et est dirigée en sens inverse du mouvement si N est positif.

Si la masse est en repos relatif, si elle est butée, par exemple, on aura $\frac{dr}{dt} = 0$, N agit alors en sens inverse de $\frac{d\omega}{dt}$, son moment est $mr^2 \frac{d\omega}{dt}$; la masse agit comme un volant.

Si au contraire la masse est en mouvement relatif, nous avons vu que, pour une vitesse de rotation uniforme, N s'exerçait suivant le signe de $\frac{dr}{dt}$ dans un sens ou dans l'autre. Dans le cas par exemple où $\frac{dr}{dt}$ est négatif, la masse en se rapprochant du centre donne une réaction qui agit sur la tige dans le sens du mouvement. L'accélération du mouvement de rotation qui tend alors à se produire est due à la diminution du moment d'inertie total.

Si ω et r varient, les deux effets que je viens d'analyser se combinent en s'ajoutant algèbriquement. La masse agit comme un volant dont le rayon de giration serait susceptible de variations. Il y a la force centrifuge composée et l'inertie d'entraînement; ces deux

termes doivent être envisagés simultanément et cette circonstance n'est pas toujours favorable à l'uniformisation de la vitesse angulaire, car nous verrons qu'un accroissement de cette vitesse peut être, dans certaines conditions que nous spécifierons, concomitant avec un retour de la masse mobile vers le centre.

L'équation du mouvement relatif de la masse sur la tige OX devient, dans le cas d'une rotation non uniforme :

$$(9)\quad m\frac{d^2r}{dt^2} - mr\omega^2 + f\left(mr\frac{d\omega}{dt} + 2m\omega\frac{dr}{dt}\right) = -k(r - r_1).$$

Les deux dernières équations écrites ne suffisent plus à déterminer le mouvement de la masse; elles supposent connue la loi de variation de la vitesse angulaire. Nous allons ajouter à ces équations celles qui sont relatives à l'axe même du régulateur.

V. *Équations du mouvement de rotation du système auquel est appliqué le régulateur.* — Je vais énumérer d'abord les diverses forces qui agissent sur le système:

1° Le couple moteur C;

2° La pesanteur; l'axe du régulateur étant horizontal l'effet général de cette force sur la masse mobile consiste, *grosso modo*, en un allongement dans un sens à peu près vertical des trajectoires de cette masse. Elle influe aussi sur la valeur des réactions des coussinets. Sans elles, dans le mouvement uniforme permanent, les réactions tourneraient dans un plan vertical, sans changer d'intensité. Si l'on tient compte de la pesanteur, les réactions varieront alors suivant l'orientation du bras. Le rôle principal de la pesanteur est d'assurer la stabilité du socle et la fixité des tourillons. Le socle

doit être lesté par des masses pesantes additionnelles de poids suffisant, si le mouvement est communiqué par un léger moteur électrique au lieu d'être produit par un moteur à poids. Cela dit, dans les calculs ci-après, je ferai abstraction de la pesanteur;

3° La tension des ressorts; cette tension agit sur l'axe dans la direction du bras qui porte la masse mobile;

4° La réaction de la masse mobile sur le bras le long duquel elle coulisse;

5° Les réactions des deux coussinets; ceux-ci agissant d'abord sur les épaulements des deux tourillons, par deux composantes dirigées suivant l'axe. La somme de ces deux composantes est nulle; c'est tout ce que nous savons d'elles. C'est l'élasticité des supports et diverses autres causes indépendantes de l'étude poursuivie ici, qui fixent la valeur propre de chacune d'elles. Nous en ferons donc abstraction pour ne considérer que les composantes normales à l'axe du système. Les réactions normales des deux coussinets se composent respectivement en deux forces T et T' situées dans les plans verticaux menés par le milieu des coussinets.

La réaction T peut être transportée parallèlement à elle-même au centre du tourillon correspondant, à la condition d'adjoindre à la force T_1 ainsi obtenue le couple $T_1 \rho \sin\varphi$, dans l'expression duquel ρ est le rayon du tourillon et φ l'angle fait avec T par le rayon aboutissant au point d'application de cette force. Cet angle φ est donc l'angle formé par T avec la composante normale. Ce n'est donc autre chose que l'angle de frottement. Le couple considéré a donc pour moment $T\rho \frac{f}{\sqrt{1+f^2}}$. Le second coussinet donnerait

semblablement une force T′ appliquée à l'axe normalement en son centre et un couple de moment $T'\rho \frac{f}{\sqrt{1+f^2}}$, en supposant que le rayon et le coefficient de frottement aient la même valeur pour les deux tourillons.

Je vais rapporter le mouvement à trois axes rectangulaires de coordonnées. L'axe oz est l'axe de rotation du régulateur, le plan xy est le plan vertical où se meut l'axe géométrique du bras porte-masse ; l'axe oy est dirigé verticalement de bas en haut ; l'axe ox est horizontal. Le sens de rotation pris pour sens positif est celui qui amène par une rotation dextrorsum de 90° autour de oz l'axe ox en coïncidence avec oy. Dans ces conditions, si l'angle formé par OX (arbre mobile) avec ox est désigné par θ, on aura :

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}. \tag{10}$$

Soit maintenant OY la droite qui dans le plan vertical xoy est en avance de 90° sur OX ; je vais rapporter les équations du mouvement aux axes OX, OY et oz.

Soient T_X, T_Y les composantes de T suivant OX, OY ; T'_X, T'_Y les composantes de T′ ; M la masse du système rigide en rotation, a la distance à l'axe oz du centre de gravité de ce système. (Ce système comprend ce qui fait corps avec l'axe de rotation, mais non les ressorts, ni la masse mobile m.) Il résulte de la construction de l'appareil que le centre de gravité est situé dans le plan zOX. J'appelle h et h' les distances au plan xoy des plans verticaux moyens des coussinets, μ (d'une façon générale) la masse d'une particule de coordonnées XYz et I le moment d'inertie.

J'aurai, pour équations du mouvement :

$$(11)\qquad -N + T_Y + T'_Y = Ma\,\frac{d\omega}{dt};$$

$$(12)\qquad -Nf + T_X + T'_X + k(r - r_1) = M\omega^2 a;$$

$$(13)\qquad -\omega^2\Sigma\mu zY + \frac{d\omega}{dt}\,\Sigma\mu zX - T_Y h - T'_Y h' = 0;$$

$$(14)\qquad \omega^2\Sigma\mu zX + \frac{d\omega}{dt}\,\Sigma\mu zY + T_X h + T'_X h' = 0;$$

$$(15)\qquad C - (T + T') \times \frac{f\rho}{\sqrt{1+f^2}} - Nr = I\,\frac{d\omega}{dt}.$$

La symétrie réalisée dans l'exécution matérielle du système permet de démontrer que les quantités $\Sigma\mu zX$ et $\Sigma\mu zY$ qui figurent dans les équations (13) et (14) sont nulles. Considérons, en effet, une section de l'arbre de rotation par un plan situé à une distance z du plan xoy, distance assez grande pour que cette section ne coupe pas le bras mobile. J'aurai, pour les particules μ situées dans cette section, $\Sigma\mu zX = z\Sigma\mu X = zX_1\Sigma\mu$, X_1 étant la distance au plan zoY du centre de gravité de la section. Or, si le centre de la section est sur l'axe, on aura $X_1 = 0$, d'où $\Sigma\mu zX = 0$. On aurait, de même, pour cette section $\Sigma\mu zY = 0$.

Supposons maintenant que la section faite S entame la matière constituant le bras mobile, alors il existera, symétriquement par rapport au plan xoy, une autre section S′ située à une égale distance de 0 qui coupera de même le bras mobile, car ce bras admet le plan xoy pour plan de symétrie; alors à tout élément μzX correspond un élément $\mu(-z)X$ et l'on a $\Sigma\mu zX = 0$ pour l'ensemble des sections S et S′. On a donc d'une façon générale $\Sigma\mu zX = 0$ et on aurait de même $\Sigma\mu zY = 0$, parce que le bras admet aussi le plan zoX pour plan de symétrie.

Le travail de frottement est dû principalement aux

composantes T_x et T'_x; $-Nf$ est une force des plus minimes; il en résulte, eu égard à l'équation (12) qu'il y a tout intérêt à diminuer le terme $M\omega^2 a$ et, comme la vitesse de régime ω est imposée par des raisons d'exploitation, on devra, quel que soit M, donner au système une forme telle que l'on ait : $a = 0$. Cette condition est à peu près réalisée dans la pratique.

On a alors :

$$T_x + T'_x = -k(r - r_1) + Nf;$$
$$T_y + T'_y = N;$$
$$T_x h + T'_x h' = 0;$$
$$T_y h + T'_y h' = 0.$$

D'où :

$$(16) \qquad \frac{T_x}{-h'} = \frac{T'_x}{h} = \frac{-k(r - r_1) + Nf}{h - h'}.$$

$$(17) \qquad \frac{T_y}{-h'} = \frac{T'_y}{h} = \frac{N}{h - h'}.$$

On voit que T_y et T'_y s'évanouissent, dès qu'il s'établit un régime permanent ($r = C^{te}$, $\omega = C^{te}$; d'où $N = 0$).

On voit ainsi que l'on a :

$$(18) \qquad \frac{T_x}{T_y} = \frac{T'_x}{T'_y},$$

ce qui prouve que T et T' sont parallèles.

En général T_y et T' seront très petits par rapport à T_x et T'_x, de sorte qu'on pourra, avec une approximation de 1/25 au moins, employer la formule approchée de Poncelet, et on aura :

$$(19) \qquad \begin{cases} T = 0{,}96\,T_x + 0{,}40\,T_y, \\ T' = 0{,}96\,T_x + 0{,}40\,T'_y. \end{cases}$$

VI. *Effet d'une impulsion produite par un couple instantané.* — J'imagine que, le mouvement ayant atteint un état de régime permanent, le couple moteur

éprouve une variation instantanée, due par exemple à une impulsion de durée θ produite par le couple électrique du moteur dynamoélectrique. Ce couple d'impulsion aura pour expression $\int_0^\theta \Gamma dt$. L'équation (8) donnera :

$$\delta N = mr\delta \frac{d\omega}{dt} + m \frac{d\omega}{dt} \delta r + 2m\delta\omega \frac{dr}{dt} + 2m\omega\delta \frac{dr}{dt}.$$

En régime permanent, on a $\frac{d\omega}{dt} = 0$ et $\frac{dr}{dt} = 0$; d'autre part, pendant le temps d'une impulsion, les coordonnées n'ont pas le temps de varier.

On aura donc : $\delta r = 0$ et par suite, en intégrant :

$$(20) \qquad \int_0^\theta \delta N dt = mr\delta\omega + 2m\omega\delta r = mr\delta\omega,$$

$\delta\omega$ étant l'accroissement de ω au bout du temps θ.

L'équation (9) demande à être traitée d'après les mêmes principes, et on aura :

$$(21) \qquad m\delta \frac{dr}{dt} + fmr\delta\omega = 0,$$

Les équations (11) et (12) donnent :

$$(22) \qquad -\int_0^\theta \delta N dt + \int_0^\theta \delta T_y dt + \int_0^\theta \delta T'_y dt = 0;$$

$$(23) \qquad -f\int_0^\theta \delta N dt + \int_0^\theta \delta T_x dt + \int_0^\theta \delta T'_x dt = 0.$$

L'équation (18) demeure valable pour les valeurs moyennes des réactions instantanées.

Enfin, l'équation (15) devient, par variation :

$$(24) \qquad \delta C - (\delta T + \delta T') \frac{f\rho}{\sqrt{1+f^2}} - \delta N \cdot r - N \cdot \delta r = I\delta \frac{d\omega}{dt}.$$

ou, en intervertissant d et δ et, intégrant de $t = 0$ à

$t=\theta$, avec $\delta C = \Gamma dt$

$$(25)\quad \int_0^\theta \Gamma dt - \frac{f\rho}{\sqrt{1+f^2}}\int_0^\theta (\delta T + \delta T')dt - r\int_0^\theta \delta N dt - N\int_0^\theta \delta r dt = I\delta\omega,$$

$\delta\omega$ étant l'accroissement de ω au bout du temps θ; on a $\int_0^\theta \delta r \cdot dt = \theta \cdot \delta r_m$. Cette intégrale est un infiniment petit du second ordre, car θ et δr_m valeur moyenne de δr entre les époques 0 et θ sont deux infiniment petits.

Calculons δT, on a $T\delta T = T_X \delta T_X + T_Y \delta T_Y$; mais, dans le régime permanent, on a $T_Y = 0$, $T'_Y = 0$. Il vient donc :

$$\delta T + \delta T' = \frac{T_X}{T}\delta T_X + \frac{T'_X}{T'}\delta T'_X,$$

et l'on peut remplacer ici T_X et T'_X par T et T' qui en diffèrent infiniment peu, il reste donc :

$$\delta T + \delta T' = \delta T_X + \delta T'_X.$$

nous avons donc à appliquer la formule (23) et il vient, en reportant dans (25),

$$(26)\quad (I + mr^2)\delta\omega = \int_0^\theta \Gamma dt - \frac{f^2\rho}{\sqrt{1+f^2}} mr\delta\omega.$$

D'où :

$$\delta\omega = \frac{\int_0^\theta \Gamma dt}{I + mr^2 - \frac{mf^2 r\rho}{\sqrt{1+f^2}}}.$$

On voit donc que, dans le cas d'un couple instantané, les forces continues comme l'action des ressorts ne font pas sentir leur action, et que la masse m agit, abstraction faite du frottement, dont l'influence est d'autant moindre que le produit $f^2\rho$ est petit, comme si elle était incorporée au système $(I + mr^2)$.

Une seconde conclusion de la formule précédente, c'est que tout accroissement du couple moteur a pour premier effet d'augmenter la vitesse angulaire, quel que soit le jeu des réactions internes, et ce point, quoique fort simple, est évidemment capital.

VII. *Effet du régulateur dans le cas de variations infiniment lentes de la vitesse angulaire.* — Les variations de la vitesse angulaire seront très lentes si le moment d'inertie I est suffisamment grand. Si alors on peut négliger $\frac{d\omega}{dt}$ dans les équations (8) et (9) du mouvement de la masse mobile m, nous avons vu au paragraphe III que la masse vient se fixer, en vertu de l'amortissement des oscillations occasionné par le frottement, dans une position telle que l'on ait :

$$m\omega^2 r_0 = k(r_0 - r_1). \tag{27}$$

Il n'y a d'exception que si on a simultanément

$$\delta > 0 \quad \text{et} \quad \frac{k}{m} - \omega^2 < 0,$$

c'est-à-dire :

$$\frac{\frac{k}{m}}{1+f^2} < \frac{k}{m} < \omega^2 \quad \text{ou} \quad \omega^2 > \frac{k}{m}.$$

Mais, dans ce cas encore, la position donnée par l'équation (27) est une position d'équilibre.

Je supposerai que le mouvement de la masse m sur sa tige se fasse assez lentement, pour qu'elle puisse, à chaque instant, être considérée comme située dans la position d'équilibre correspondant à la vitesse de rotation existant à cette époque.

On aura alors :

$$N = 0,$$
$$T + T' = -k(r - r_1),$$

et l'équation du mouvement deviendra :

$$\text{(28)} \qquad I\frac{d\omega}{dt} = C - \frac{f\rho}{\sqrt{1+f^2}}k(r-r_1),$$

avec :

$$\text{(29)} \qquad m\omega^2 r = k(r-r_1).$$

Il est facile d'intégrer; mais il est plus clair de discuter le problème sur les courbes représentatives des équations (28) et (29).

Je prends deux axes de coordonnées rectangulaires; je porte r en abscisse et $\frac{d\omega}{dt}$ en ordonnée. L'équation (28) représente ainsi une droite coupant l'axe des r au point $r = r'$, pour lequel on aura $\frac{d\omega}{dt} = 0$; on a alors :

$$r' = r_1 + \frac{C\sqrt{1+f^2}}{f\rho k}.$$

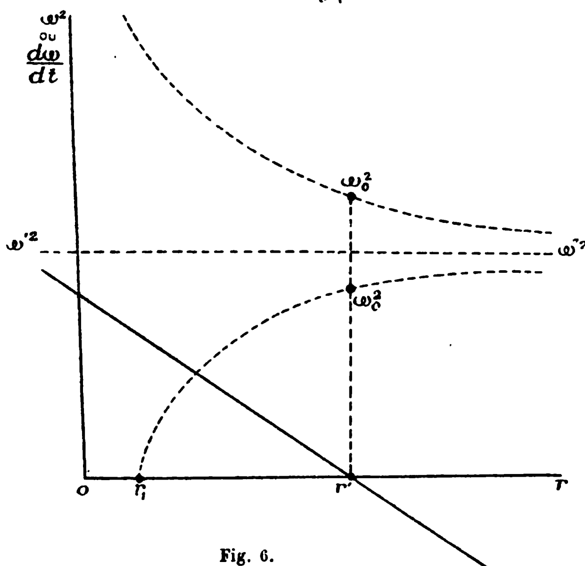


Fig. 6.

Je rapporte aux mêmes axes (*fig*. 5) la courbe repré-

sentative de l'équation (29), en mettant ω^2 en ordonnées. La courbe $\left(\omega^2 - \frac{k}{m}\right) r = -\frac{kr_1}{m}$ est une hyperbole équilatère. Je pose $\omega'^2 = \frac{k}{m}$. Deux cas sont à distinguer : 1° $r_1 > 0$. Alors, dans la partie des r positifs, on a : $\omega^2 < \omega'^2$ et ω tend vers ω' pour r infini. D'ailleurs, on a : $\omega = 0$ pour $r = r_1$. Deux cas sont de nouveau à distinguer, suivant que tout d'abord ω est plus grand ou plus petit que la valeur ω_0 correspondant à $r = r'$. Si on a $\omega > \omega_0$, on a $\frac{d\omega}{dt} < 0$, et ω décroit jusqu'à ω_0; si on a $\omega < \omega_0$, on a $\frac{d\omega}{dt} > 0$ et ω croit jusqu'a ω_0. Dans les deux cas, par conséquent, ω tend vers une valeur ω_0 qui est fonction du couple moteur C.

2° *Cas.* $r_1 < 0$. Alors, dans les mêmes conditions, on a $\omega > \omega'$, et ω est infini pour $r = 0$. De plus, ω tend toujours vers ω' pour r infini. Examinons comme précédemment les deux cas $\omega > \omega_0$ et $\omega < \omega_0$, ω_0 correspondant toujours à $r = r'$. Si on a $\omega > \omega_0$, on a $\frac{d\omega}{dt} < 0$ et ω décroit jusqu'à ω'; si on a $\omega < \omega_0$, on a $\frac{d\omega}{dt} > 0$ et ω croit jusqu'à l'infini. Dans le premier cas, r tend vers l'infini et la masse s'écarte le plus possible; dans le second cas, r tend vers zéro et la masse revient au centre.

Ce retour au centre de la masse, qui se produit dans certains cas, lorsque la vitesse de rotation augmente, paraît paradoxal au premier abord; mais il s'explique aisément si l'on se rend compte de la diminution du moment d'inertie et de la diminution du travail de frei-

nage qui en résultent. Ces deux causes agissent dans un sens favorable à l'augmentation de la vitesse de rotation.

VIII. *Influence de la masse du ressort.* — Dans les explications précédentes, j'ai fait abstraction de la masse du ressort. Si cette masse n'était pas négligeable, la tension du ressort sur son encastrement différerait de la traction exercée par ledit ressort sur la masse mobile et la différence serait due aux forces d'inertie relatives aux diverses spires. Lorsque le mouvement permanent est obtenu et que la vitesse ω se maintient constante, il n'y a à considérer que les forces centrifuges. Si μ est d'une façon générale la masse de la spire située à une distance ρ, la force centrifuge relative à cette spire est $\omega^2\mu\rho$; la résultante des forces centrifuges relatives aux diverses spires est $\omega^2\rho_1\Sigma\mu$, en appelant ρ_1 la distance à l'axe de rotation du centre de gravité du ressort. Si, pour $r - r_1 = 0$, on a $\rho_1 - r_1 = 0$, on aura $\rho_1 = \alpha(r - r_1)$, α étant une constante; et, si la construction de l'appareil réalise cette condition, tout se passe comme si le coefficient k avait une nouvelle valeur; de même, si, pour $\omega = 0$, on a $\rho_1 = 0$, on aura $\rho_1 = \alpha r$, α étant une constante; et, si la construction de l'appareil réalise cette condition, tout se passe comme si, à la force centrifuge, $\omega^2 mr$ s'ajoutait la force centrifuge $\omega^2\alpha r\Sigma\mu$, c'est-à-dire comme si la force centrifuge était due à une masse $m + \alpha\Sigma\mu$. La tension sur l'encastrement serait, dans le cas d'équilibre relatif, $\omega^2(m + \alpha\Sigma\mu)r$.

IX. *Isochronisme.* — Nous venons de voir la confirmation de ce fait que, pour $\omega > \omega'$, le système est

instable et que, pour $\omega < \omega'$, la vitesse ω tend vers une valeur ω_0 fonction du couple moteur. Si l'on veut que la vitesse de régime ait une valeur constante, ω' par exemple, quel que soit le couple moteur, il suffira de poser $r_1 = 0$. On a alors

$$\omega = \omega', \quad \text{d'où} \quad \frac{d\omega}{dt} = 0,$$

et

$$C - \frac{f\rho}{\sqrt{1+f^2}} kr = 0, \quad T + T' = kr.$$

Donc le mouvement est uniforme; la position de la masse sur la tige dépend du couple moteur et les réactions des coussinets dépendent de cette position; elles ont une valeur telle que le couple de frottement auquel elles donnent lieu équilibre le couple moteur. La masse est en équilibre indifférent dans chacune des positions qu'elle peut occuper suivant la valeur du couple C.

J.-B. Pomey.

ÉTUDE SUR LES ISOLEMENTS (*)

Par M. Eug. VIGNERON,
professeur à l'École d'application d'électricité.

Dans un câble parcouru par un courant, nous pouvons observer trois faits au point de vue électrique :

1° Une dissipation d'électricité par conduction dans l'isolant ;

2° Une dissipation par la charge de cet isolant qui forme un véritable condensateur cylindrique ;

3° Un courant dans le fil métallique.

Nous proposons de calculer ces diverses quantités en considérant un élément du câble de longueur dl pendant le temps très court dt.

Nous désignerons par ρ la résistance du fil par unité de longueur; par C la capacité du diélectrique (uniformément répartie ou non) par unité de longueur comptée aussi sur le fil. Enfin R sera la résistance du diélectrique par unité de longueur comptée aussi sur le fil.

La résistance de l'isolant suivant la longueur dl de l'élément sera $\frac{R}{dl}$, le courant à travers l'isolant du fait de la conduction de cet isolant sera

$$i_1 = \frac{V dl}{R}. \tag{1}$$

La charge de l'élément étant

$$Q = CV \cdot dl, \tag{2}$$

(*) Leçon sur les isolements. Cours de mesures de l'École d'application 1895-96.

le courant i_2 dû à la capacité sera

$$i_2 = C \frac{\partial V}{\partial t} dl. \tag{3}$$

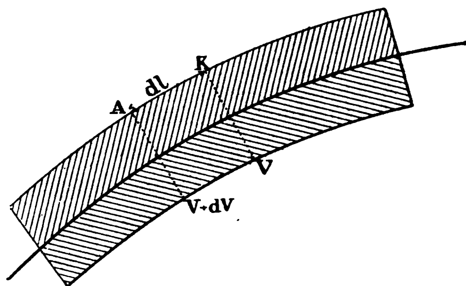


Fig. 1.

Étudions maitenant le courant dans le fil.

En K, le courant est

$$i_3 = \frac{dV}{\rho dl}. \tag{4}$$

Et en A, on aura ainsi

$$i_4 = \frac{d(V + dV)}{\rho dl}. \tag{5}$$

Remarquons que dans ces dernières formule V varie avec la *longueur seulement.*

On a, évidemment,

$$i_1 + i_2 = i_4 - i_3 \tag{6}$$

or

$$i_4 - i_3 = \left[\frac{\partial(V + dV)}{\partial l} - \frac{\partial V}{\partial l}\right]\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho}\frac{\partial^2 V}{\partial l^2} dl.$$

Et en remplaçant i_1 et i_2 par leur valeur, on obtient

$$\frac{1}{\rho}\frac{\partial^2 V}{\partial l^2} - C\frac{\partial V}{\partial t} - \frac{V}{R} = 0. \tag{7}$$

Telle est la relation générale donnant le potentiel en un point; la résolution de cette équation différentielle dépend des formes de V pour $l=0$ et $l=l_1$.

La formule (7) est connue depuis longtemps (*). Lorsqu'on suppose R infiniment grand auprès des autres constantes avec $C =$ constante, on retombe sur l'équation de la capacité uniformément répartie le long d'un câble (voir : *les Courants alternatifs*, de Blakeslay, traduits par Cam. Rechnewski).

Calculons maintenant le travail dissipé ou perdu par l'isolant pendant le temps dt, c'est

$$d\mathfrak{E} = (i_1 + i_2)\mathrm{V}dt$$
$$= \left(\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{R}}\,dl + \mathrm{C}\,\frac{\partial \mathrm{V}}{\partial t}\,dl\right)\mathrm{V}dt,$$

et

$$\mathfrak{E} = \int_0^t\int_0^l \frac{\mathrm{V}^2}{\mathrm{R}}\,dl\,dt + \int_0^t\int_0^l \mathrm{C}\,\mathrm{V}\,\frac{\partial \mathrm{V}}{\partial t}\,dl\,dt.$$

Posons

$$u = \mathrm{V}^2,$$

alors

$$\mathfrak{E} = \int\int \frac{u}{\mathrm{R}}\,dl\,dt + \frac{1}{2}\int\int \mathrm{C}\,\frac{\partial u}{\partial t}\,dl\,dt,$$

que nous pouvons transformer encore ainsi (dans le cas où C est constant)

$$\mathfrak{E} = \int\int \frac{u}{\mathrm{R}}\,dl\,dt + \frac{1}{2}\int_0^l \mathrm{C}(u_t - u_0)\,dl.$$

Le travail absorbé se partage en deux parties, l'une due à la conductance d'isolement du diélectrique, l'autre due à la capacité uniformément répartie de ce diélectrique. Or si le régime est périodique et si T est

(*) Cette équation a été trouvé par Fourier dans son étude sur la propagation de la chaleur. Voir l'ouvrage de Vaschy (2[e] vol.) pour la discussion dans l'étude de la propagation du courant.

D'autres auteurs, entr'autres Blaskelay et lord Kelvin, ont traité le cas où $\mathrm{R} = \infty$.

la période

$$u_T - u_0 = \dots = u_{nT} - u_{(n-1)T} = 0.$$

Ainsi dans l'étendue de la période, l'énergie absorbée du fait de la capacité compense l'énergie rendue à un autre instant de la même période.

On doit faire une remarque capitale cependant, il se peut que la valeur de V en un point du câble soit représentée par une courbe (*) de la forme (α).

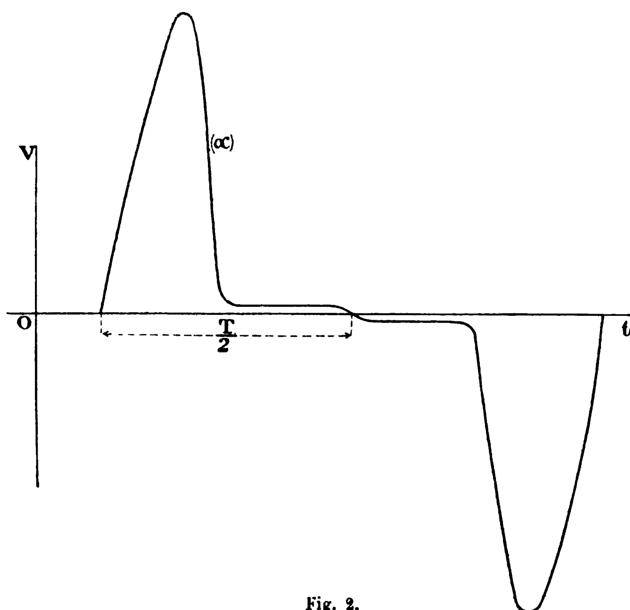


Fig. 2.

Et, en se reportant à la formule qui donne le travail dû à la capacité

$$\frac{1}{2}\int_0^l C(u_t - u_0)dl,$$

(*) M. Loppé m'a communiqué une prédétermination de courbe représentative de la F. E. M. du secondaire d'un transformateur, c'était une forme approchant de (α).

on voit que le câble serait soumis alors à des fluctuations énergitiques très brusques qui pourraient le détériorer, et même le détruire.

On voit sur cette même formule que le câble est sensible au point vue de sa conservation aux élongations maxima (c'est une loi générale pour les corps organiques).

Il en résulte que pour les câbles *destinés aux courants alternatifs*, un premier essai devra être fait; il consistera à soumettre le diélectrique du câble à une différence de potentiel efficace deux ou trois fois supérieure à la différence de potentiel efficace du régime auquel le câble sera soumis. En effet, les ordonnées maxima d'une fonction périodique E sont toujours supérieures à la valeur moyenne $\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T E^2 dt}$.

Que le courant soit continu ou alternatif la première intégrale de dissipation d'énergie peut s'écrire (en supposant R constant)

$$\frac{1}{R}\int_0^l dl \int_0^t V^2 dt.$$

Et au bout du temps $t = nT$ (T étant la période)

$$\frac{n}{R}\int_0^l V_{eff.}^2 dl.$$

Ce qui peut s'exprimer ainsi :

Le travail dissipé par suite de la conduction du diélectrique est proportionnel, toutes choses égales d'ailleurs, au temps t et inversement proportionnel à la résistance diélectrique par unité de longueur.

Comment mesurer R?

En nous reportant à (1) et (3), nous verrons que la

quantité totale Q qui traverse le câble est

$$Q = \int_0^l \int_0^t \left(\frac{V}{R} + C\frac{\partial V}{\partial t}\right) dl\,dt$$

$$= \int_0^l \int_0^t \frac{V}{R}\,dl\,dt + C\int_0^l \int_0^t \frac{\partial V}{\partial t}\,dt\,dl$$

$$= \frac{1}{R}\int_0^l dl \int_0^t V\,dt + C\int_0^l (V_t - V_0)\,dl.$$

On voit que dans le cas des courants alternatifs

$$\frac{1}{R}\int_0^l dl \int_0^t V\,dt = C\int_0^l (V_t - V_0)\,dl = 0,$$

pour chaque période.

De sorte que $Q = 0$ après chaque période.

Si le *régime est continu*, la valeur de Q est donnée par

$$Q = \frac{t}{R}\int_0^l V\,dl.$$

On voit ainsi que le courant à travers le diélectrique est constant et est

$$\frac{Q}{t} = \frac{1}{R}\int_0^l V\,dl = I.$$

Si on suppose le câble de longueur non infinie, on verra facilement que V est sensiblement constant. Alors on a

$$\frac{V}{I} = \frac{R}{l}.$$

Par définition, on appellera résistance à l'isolement de la longueur l du câble, le quotient de la différence de potentiel à laquelle le diélectrique est soumise par le courant qui traverse ce diélectrique.

Cette résistance d'isolement permet de calculer facilement R qui est important à connaître d'après ce qui a été vu plus haut.

(*A suivre.*)

OBSERVATIONS

POUR LA SOLUTION TECHNIQUE

DE LA QUESTION

DES TAXES TÉLÉPHONIQUES (*).

Par C. von BARTH, Ingénieur à Vienne.

Les taxes globales, actuellement appliquées par la plupart des administrations en ce qui concerne le service téléphonique local, se distinguent par la simplicité toute particulière que comporte leur décompte. Aux débuts de la téléphonie, elles ont répondu pleinement aux besoins du public et des entreprises; mais, en l'état actuel, il sera difficile de les appliquer pendant longtemps encore.

Tant qu'on n'a pas possédé d'expérience sur le service téléphonique pratique, sur l'extension et l'intensité qu'il acquerrait, tant que les frais d'exploitation ont échappé à toute évaluation même approximative, tant qu'on a dû procéder à des changements incessants pour obtenir un service irréprochable, et enfin tant qu'on a pu considérer l'usage du téléphone comme un objet de luxe accessible seulement aux classes aisées, il a paru juste de fixer les tarifs d'abonnement

(*) Extrait de l'*Elektrotechnische Zeitschrift.*

à un chiffre uniforme pour tous les abonnés en élevant suffisamment ce chiffre de manière à pouvoir assurer le service, dans toutes circonstances, en réalisant un bénéfice suffisant. Mais aujourd'hui, le téléphone a conquis droit de cité dans le monde des affaires, et il est devenu un véritable besoin pour un grand nombre de classes; les dispositifs adoptés ont acquis un certain degré de stabilité; et, en même temps, on a aujourd'hui la possibilité de déterminer d'avance, avec un certain degré d'exactitude suffisant, l'augmentation des frais d'exploitation qui est la conséquence de l'accroissement du nombre des abonnés d'un réseau. Un état de choses si profondément modifié est aussi peu compatible avec le tarif actuellement en vigueur qu'un système exclusivement global de droits le serait avec les conditions présentes des services des chemins de fer, des postes et des télégraphes. La tarification téléphonique actuelle offre les défauts suivants :

1° Pour les abonnés faisant fréquemment usage du téléphone, les droits actuels sont trop bas, par rapport aux économies que leur fait réaliser ce nouveau moyen de communication; par contre, pour les abonnés qui ne font que modérément usage du téléphone, les mêmes droits sont trop élevés. En outre, les abonnés d'un grand réseau payent trop peu en comparaison des abonnés d'une petite ville. Il en résulte que les abonnés au téléphone se recrutent actuellement surtout dans les cercles qui font un usage très intensif de la correspondance téléphonique et qui, par suite, *formulent des exigences élevées au sujet de la capacité de service des dispositifs d'exploitation*, *et cela sans fournir en retour de compensation correspon-*

dante; par suite, le chiffre des abonnés aura atteint son maximum, lorsque tous les membres de ces cercles se trouveront reliés aux réseaux locaux; quant aux grandes masses des centres de population, l'on ne parviendra jamais, avec le tarif uniforme actuel, à leur rendre accessibles les importants avantages offerts par le trafic téléphonique;

2° Le rendement des réseaux téléphoniques ne peut pas s'accroître dans les proportions désirables, proportions effectivement atteintes par les autres services de communications, parce que, avec l'accroissement du nombre des abonnés, les frais d'exploitation augmentent beaucoup plus vite que les recettes résultant d'un tarif global;

3° Les réclamations relatives à l'imperfection du service ne cesseront jamais sur les grands réseaux, malgré l'adoption des dispositifs les plus parfaits, tant que chaque abonné pourra faire usage du téléphone sans restriction aucune, c'est-à-dire tant que, par la graduation des droits, on n'aura pas donné au téléphone le caractère d'un moyen public de communication.

Ces défauts qui, avec le temps, entraveront le développement ultérieur de la téléphonie et empêcheront sa vulgarisation, l'on ne peut les éliminer qu'en créant un *système de tarif naturel,* dans lequel il y aura un rapport exact entre le service effectué et la compensation donnée en retour. Ce qui distingue les correspondances téléphoniques locales du service postal, du service télégraphique et même du service téléphonique interurbain, c'est que, dans ces trois derniers services, toutes les facilités offertes sont accessibles à tous contre versement de certaines taxes, tandis que

l'abonné au téléphone, lui, dispose à l'exclusion de toute autre personne d'un appareil particulier et d'un fil de raccordement avec le bureau central. C'est là le seul trait qui différencie le service téléphonique local; et on peut en tenir compte en astreignant l'abonné soit à rembourser les dépenses faites pour son usage exclusif sous forme d'une taxe de construction perçue une fois pour toutes, soit à acquitter chaque année une taxe principale. Nous n'examinerons pas ici lequel, de ces deux modes de paiement, est préférable. D'après les idées émises jusqu'ici (*) à ce sujet, on semble d'accord pour admettre comme préférable la perception annuelle, sur les abonnés, d'une taxe fondamentale représentative du service des intérêts et de l'amortissement des frais d'installation.

Par le paiement de la taxe fondamentale, laquelle sera plus ou moins élevée suivant la longueur du fil de raccordement et la nature des appareils mis à la disposition des abonnés, l'abonné s'est seulement donné la possibilité de correspondre, à partir de son domicile, avec d'autres abonnés. Si l'abonné fait plus ou moins fréquemment usage de l'installation mise à sa disposition exclusive, s'il réclame dans une mesure plus ou moins grande les services du bureau téléphonique central, les faits doivent trouver leur expression dans une deuxième taxe, la taxe d'exploitation. Il s'agit donc de trouver la méthode la plus convenable afin de pouvoir contrôler *exactement* l'emploi des

(*) D[r] Rothen, *Étude sur la téléphonie*, 1888, p. 19 — D[r] Wietlisbach, Les taxes téléphoniques (*Zeitschrift für Elektrotechnik*, 1893, p. 299). — Communication du bureau des ingénieurs de la Poste impériale, Berlin, 1892, p. 97. — J. Baumann, Études téléphoniques (*Elektrotechnische Zeitschrift*, Berlin, 1894, p. 419).

téléphones par les divers abonnés sans accroître le travail du bureau central et de pouvoir déterminer en conséquence la taxe d'exploitation à percevoir.

La méthode la plus simple pour atteindre ce résultat est sans doute celle expérimentée depuis quelque temps en Suisse et qui consiste à faire prendre note, par les employés du bureau central, du nombre des conversations provoquées par chaque abonné. Mais un pareil procédé impose au bureau central un surcroît de travail qu'il n'est guère facile de tolérer à la longue, il complique extraordinairement la comptabilité et, en outre, il a le défaut de ne pas donner à l'abonné intéressé la possibilité de contrôler, en tout temps, ses dépenses de correspondance téléphonique et de mettre un terme aux abus éventuellement commis par son personnel.

Une autre proposition a été formulée, d'après laquelle on déterminerait, à certaines dates, le nombre des conversations téléphoniques tenues, dans la journée, par l'abonné. Des chiffres obtenus, on déduirait une moyenne annuelle et, sur la base des relèvements ainsi effectués, on classerait les abonnés en différentes catégories. Mais un pareil système laisse la porte ouverte à des éventualités accidentelles et à des inexactitudes qui pourraient amener des contestations délicates entre l'administration publique et les particuliers. La même observation s'applique aux propositions faites de classer les abonnés d'après leurs professions, leur importance dans le monde des affaires, etc.

Pour ce qui est des dispositifs d'enregistrement automatiques, remarquons que l'on a imaginé quantité de compteurs automatiques, de compteurs de conversations, d'enregistreurs du temps employé, mais qui,

d'une construction rudimentaire, enregistrent uniformément tous les appels faits au bureau central ou bien encore enregistrent la durée pendant laquelle les téléphones ont cessé d'être accrochés.

Sans parler des autres désavantages que comportent les appareils précités et que nous examinerons plus loin, la dernière particularité que nous venons de signaler suffit à elle seule pour faire écarter ces compteurs et chronomètres. L'application d'une taxe d'exploitation ne se justifierait que si la détermination de l'emploi fait du téléphone repose sur des bases absolument justes et inattaquables et si l'abonné n'est astreint à un paiement qu'au cas où il aura reçu la contre-partie de son débours. L'abonné paiera volontiers pour une conversation qui aura eu lieu effectivement, mais non pour un appel demeuré sans résultat. Enfin, si l'on tient compte d'une autre proposition, d'après laquelle on fixerait le prix de la conversation à un chiffre assez bas pour que l'abonné reste indifférent à la taxation d'une conversation en plus ou en moins, alors la détermination d'une taxe par conversation n'a pas grand objet et, dans ce cas, mieux vaut maintenir les taxes globales actuelles.

Les dispositifs techniques, qui permettront d'amener une solution de la question des taxes téléphoniques et cela sans accroître le travail du bureau central, doivent donc satisfaire aux conditions ci-après :

« On peut adopter pour mesure de l'usage d'un poste téléphonique soit le nombre des conversations effectives, soit leur nombre et leur durée simultanément ». Il ne suffit pas d'enregistrer seulement la durée des conversations, car il n'y a pas égalité dans le travail réclamé du bureau lorsque l'abonné

maintient longtemps la même communication ou bien lorsque, durant le même laps de temps, il demande dix ou vingt communications différentes.

Dans le service local, il y a avantage à tenir compte non seulement du nombre, mais encore de la durée des conversations, car par là on rappelle, en tout temps, l'attention de l'abonné sur la nécessité de donner le signal de fin de conversation. En outre, il est de toute justice de tenir compte de la durée des conversations; car une longue conversation permet de régler plus d'affaires qu'un court entretien, en sorte que, dans le premier cas, on rend à l'abonné un plus grand service que dans le second. Par suite, l'adoption d'un système tenant compte de la durée des conversations aura pour conséquence d'encourager les abonnés à abréger, autant que possible, leurs entretiens et à donner en temps voulu le signal de fin de conversation, ce qui entraînera, dans le service général, une exactitude plus grande, au grand avantage de tous les abonnés.

Une autre question qu'il convient d'examiner brièvement, c'est celle de savoir s'il faut porter une seule conversation au compte des deux correspondants ou simplement au compte de l'abonné appelant. Il est de toute justice de ne faire payer que l'abonné qui a demandé la communication, car rarement l'abonné appelé se trouvera en mesure de se refuser de prime-abord à correspondre avec d'autres abonnés et par suite on ne peut songer à lui faire acquitter une taxe pour des communications peut-être importunes. Quand même une grande partie du trafic téléphonique consisterait en conversations dans lesquelles ce serait l'abonné appelé, et non le demandeur, qui y aurait le

plus d'intérêt, néanmoins, il faudrait maintenir le principe d'après lequel l'abonné appelant acquitte la taxe voulue, tout en laissant aux intéressés le soin de régler leurs comptes ensemble. C'est là d'ailleurs le principe aujourd'hui en vigueur dans les relations postales et télégraphiques; dans ces cas, c'est l'expéditeur qui, le plus souvent, acquitte la taxe prescrite.

Il découle de ces observations que la *solution technique de la question des taxes téléphoniques* consiste à construire des appareils susceptibles *d'enregistrer automatiquement et exactement toute conversation réellement effectuée*, *et même encore la durée de la mise en communication*, *chez l'abonné qui aura provoqué l'entretien.*

Nous décrivons ci-après un système de compteur qui répond à ces désidérata, qui peut s'appliquer même sur les plus grands réseaux sans entraîner beaucoup de frais, et qui permet l'enregistrement automatique des conversations, soit quant à leur nombre et à leur durée, soit — ce qui simplifie considérablement les dispositifs à introduire dans le bureau central — quant à leur nombre seulement, sans égard à la durée. Le principe adopté consiste en ce que les courants, *partant du bureau central* pour actionner les compteurs, sont émis sur la ligne de l'abonné appelant dès que la communication se trouve réellement établie, et qu'en outre, si la durée des conversations doit être notée, cette émission se renouvelle ultérieurement d'elle-même à des intervalles de temps déterminés. Pour l'enregistrement des émissions de courants marquant le nombre des unités de conversation, on dispose de petits compteurs électriques

placés dans le bureau central ou dans les postes d'abonnés.

A. INSTALLATION DANS LE BUREAU CENTRAL.

1° *Pour l'enregistrement des conversations comme nombre et comme durée.* — Pour le double enregistrement précité, le système repose sur les principes suivants :

a) Chaque conversation, jusqu'à concurrence d'une durée déterminée, par exemple 6 minutes, est notée comme une *unité de conversation* et chaque nouvelle période commencée de 6 minutes se compte comme une autre conversation ;

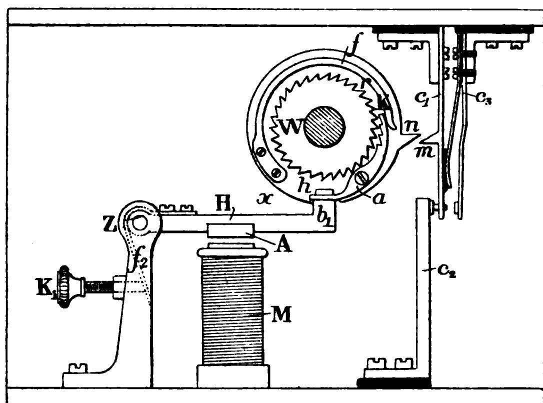
b) Le comptage automatique des unités de conversation n'a jamais lieu que pour l'abonné appelant ;

c) Le comptage a lieu dès que l'opérateur a effectué la mise en communication de deux abonnés ; il ne s'effectue pas si l'agent de service constate que la communication demandée ne peut avoir lieu immédiatement pour un motif quelconque.

On atteint cet objectif multiple au moyen d'un jeu de clés installé dans une partie quelconque du bureau et relié, par des conducteurs, aux commutateurs centraux.

Ce dispositif de contacts comporte tout d'abord un arbre de transmission W (*fig.* 1 et 2), lequel tourne constamment et lentement sous l'action d'un mécanisme d'horlogerie et qui, durant le laps de temps sus-mentionné de 6 minutes, opère une révolution complète ; cet arbre porte autant de roues à rochet qu'il existe de paires de fiches de communication dans le commutateur

central en cause. A côté de chaque roue d'accouplement, on voit, sur l'arbre W, un disque fou sur l'arbre x, lequel porte une encoche 1 et une came n (qui ne se trouve



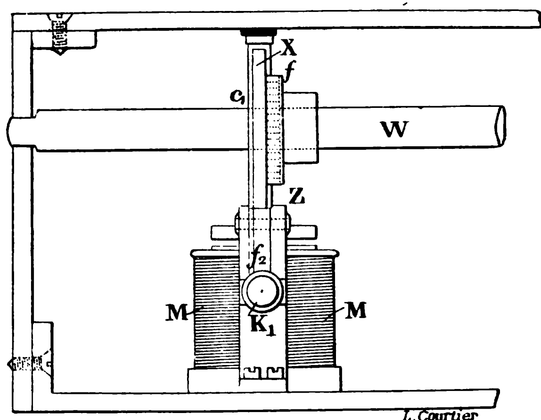


Fig. 1 et 2.

pas dans le même plan que l'encoche), ainsi qu'un cliquet K, avec son ressort correspondant f. Contre le disque fou sur l'arbre x s'appuie l'extrémité recour-

bée b_1 du levier d'armature H, grâce à la pression du ressort lame f_2. L'électro-aimant M, dont les bobines ont environ 25$^\omega$ de résistance, se trouve intercalé dans le circuit d'une pile locale B_1 et le circuit de cet électro peut être fermé en faisant basculer à l'intérieur du meuble le levier de la clé correspondante.

Dans la position de repos, le ressort-lame f_2 presse l'extrémité du levier d'armature et la maintient dans l'encoche du disque mobile x; alors b appuie sur le bras h du cliquet K et maintient ce dernier éloigné de la roue à rochet r, en sorte que les disques x et r ne sont pas solidaires, mais si on manœuvre, après avoir établi une communication, le levier de la clé qui correspond à la paire de fiches, alors on enlève la communication avec la terre et on ferme le circuit local en E (*fig.* 3); et l'armature A de l'électro-aimant M (*fig.* 1) se trouve attirée; l'extrémité recourbé b_1 de l'armature, dans ces conditions, sort de l'encoche, et le cliquet K est amené par le ressort f en prise avec la roue r, en sorte que le disque monté sur l'arbre W est entraîné par lui (*).

(*) Dans le fascicule XXII de la *Zeitschrift für Elektrotechnik* de Vienne, 1893, nous avons décrit un dispositif de contacts avec lequel la numération des unités de conversation commence au moment où la seconde fiche du fil souple de communication se trouve être levée. Ce dispositif, sur les commutateurs simples, répondrait parfaitement au désidératum en vue. En d'autres termes, il permettrait de ne compter que les seules conversations effectuées, parce que l'opérateur voit d'un coup d'œil que la communication demandée est libre ou occupée. Sur les commutateurs multiples, naturellement le même dispositif enregistrerait les appels au sujet desquels l'opérateur, seulement après essai du fil demandé, constate que la communication ne peut être pour le moment établie, mais cela à la condition d'utiliser la seconde fiche. Comme il importe de n'imputer aux abonnés *que les seules conversations réellement survenues*, de manière à éviter des réclamations justifiées de la part du public, et en outre afin d'obtenir la possibilité de séparer complètement le dispositif de contacts

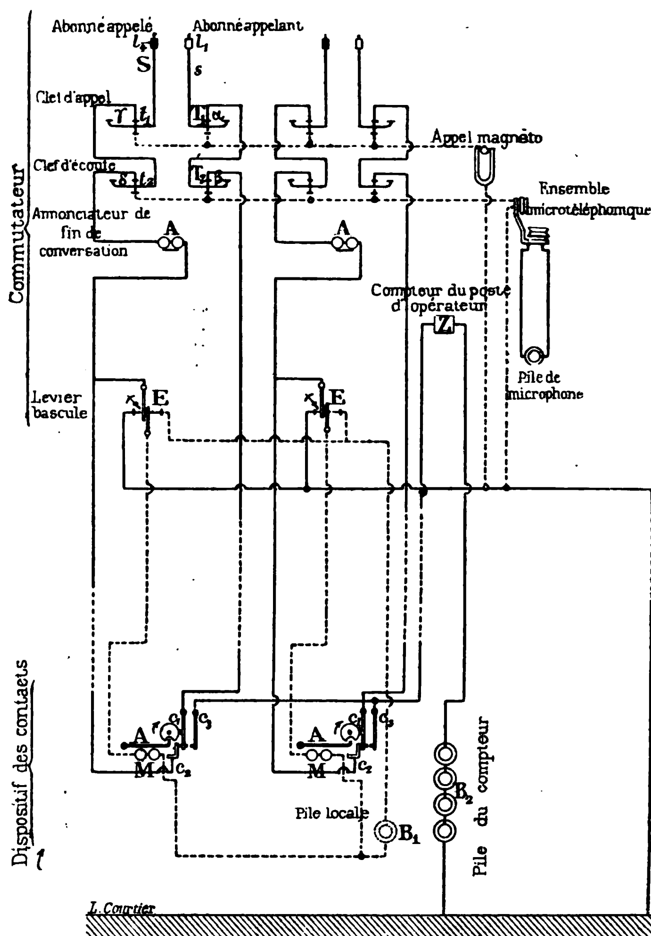


Fig. 3.

du commutateur, ce qui facilitera grandement l'emploi du compteur sur les réseaux déjà existants, nous avons depuis apporté à notre appareil la modification ci-après : le disque de contact x est accouplé à l'arbre principal au moment où l'opérateur exécute la dernière manipulation nécessitée par l'établissement d'une communication, c'est-à-dire au moment où il déplace le levier bascule, en sorte qu'il sait exactement que la conversation peut avoir lieu.

Pendant cette rotation, comme on voit sur la *fig.* 1, la came n rencontrant la dent m, soulèvera un moment le ressort de contact c_1 du point de contact c_2, et l'appliquera contre le ressort de contact c_3. Les pièces de contact c_1 et c_2 sont intercalées dans le fil souple qui relie les deux fiches d'une paire.

Dans le schéma de la partie figurée à titre d'exemple d'un panneau d'annonciateurs pour fils simples (voir *fig.* 3), les pièces c_1 et c_2 se trouvent placées entre l'annonciateur de fin de conversation A et le contact de repos de la clé d'écoute T_2 affectés à l'abonné appelant. Ce ressort de contact c_3 se trouve relié avec une pile B_2 ayant un pôle à la terre, laquelle doit actionner le compteur central du poste d'opérateur en cause, ainsi que les compteurs de conversations installés dans les postes d'abonnés. Lorsque deux abonnés ont été reliés ensemble au moyen des fiches S*s* du conducteur l_1 l_4, les compteurs se trouvent actionnés par le fait que la came n applique le ressort de contact c_1 contre c_3; le courant de la pile B_2 se rend alors d'un côté à la terre, et de l'autre côté il traverse le compteur principal Z en passant par c_3 et c_1, les clés T_2 et T_1, le conducteur l_1 pour se rendre au compteur de l'abonné appelant puis à la terre, tandis que le conducteur de l'abonné demandé demeure isolé pendant ce court laps de temps.

La construction de la clé à levier se trouve représentée à la *fig.* 4. Le levier-bascule K, qui doit, sur les panneaux d'annonciateurs en usage en Autriche, assurer, lorsqu'il se trouve dans sa position normale, la communication de l'âme du fil simple des fiches avec la terre, est pourvu d'une deuxième pièce de contact. Cette deuxième pièce est formée du levier h

mobile autour de l'axe *a* et du butoir *c*; dans la position normale indiquée, il interrompt le circuit local de l'électro-aimant correspondant; dans la position de

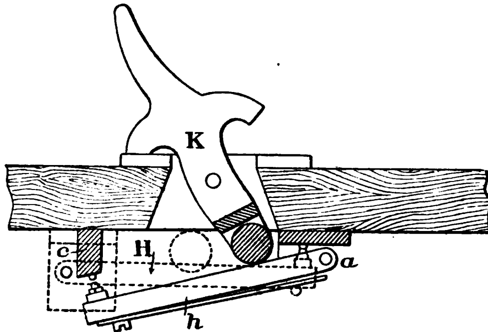


Fig. 4.

conversation, par contre, il ferme ce circuit et, conséquemment, provoque l'attraction de l'armature A (*fig.* 1).

Il est maintenant facile de s'expliquer comment fonctionne le compteur au cas d'une conversation. Supposons que l'unité de conversation soit fixée à 6 minutes. Quand un abonné appelle, l'opérateur de service, après avoir enfoncé sa fiche de droite (la blanche), prend le numéro de l'abonné appelé, puis il insère sa fiche de gauche (la noire) dans le jack de l'abonné demandé et appelle ce dernier. S'il est impossible d'éveiller l'attention de l'abonné demandé ou, pour un motif quelconque, d'établir la communication désirée (par exemple parce que l'essai, sur les commutateurs multiples, démontre que le fil demandé est déjà occupé), l'opérateur avise l'abonné appelant en conséquence et l'appel n'est pas compté. Si au contraire l'abonné appelé répond à l'appel et que la

conversation puisse avoir lieu, l'opérateur fait tourner le levier bascule correspondant, enlève ainsi la communication à la terre, et établit le contact en E, en sorte que le courant de la pile B s'écoule par l'électro-aimant M qui alors attire son armature, et par là le comptage d'une unité se trouve obtenu chez l'abonné appelant.

Si la communication persiste encore après 6 minutes, on obtient le comptage d'une nouvelle unité; car les deux ressorts de contact c_1 et c_3 sont pressés de nouveau l'un contre l'autre pendant un instant par la came revenue dans sa position normale; par suite de cette manœuvre, un courant de courte durée se trouve envoyé au travers du compteur central et du compteur individuel; pendant ce temps, l'autre conducteur demeure isolé un court instant, et la deuxième unité de conversation est enregistrée sur le compteur de l'abonné appelant, etc. De cette manière, les unités de conversation se trouvent comptées automatiquement, *sans l'intervention de l'opérateur*, jusqu'à ce que le signal de fin de conversation soit donné par les abonnés et que la communication se trouve interrompue dans le bureau central. Quand la communication est interrompue, le retour du levier-bascule dans sa position normale entraîne le désembrayage du disque x. De temps à autre, tous les trois mois ou six mois, on relève les chiffres marqués par les compteurs et on détermine, d'après ces chiffres, la somme à payer par l'abonné à titre de droit d'exploitation.

Le même dispositif de contacts peut s'installer sans difficulté sur tous les commutateurs dicordes; mais naturellement, dans chaque cas, la construction des pièces détachées et leur insertion doivent avoir lieu en

conformité avec l'organisation particulière et le schéma des communications du commutateur en cause. Avec les commutateurs monocordes, ce n'est pas un dispositif de contacts pour chaque fil d'abonné, mais bien seulement dix ou vingt de ces dispositifs par poste d'opérateur que l'on doit installer sur l'arbre ; puis, au moyen de commutateurs spéciaux, lorsqu'on établit une communication, on introduit un de ces dispositifs alors inoccupé sur le conducteur de l'abonné appelant, et cela pour la durée de la conversation.

Sur les panneaux d'annonciateurs du système dicorde, on atteint facilement le but en vue en doublant le dispositif de contacts qui est composé des pièces c_1, c_2 et c_3 (*fig.* 1 et 3) et en disposant les ressorts c_1 à côté l'un de l'autre de manière qu'ils soient tous les deux *simultanément* séparés des pièces de contact c_2 par la came *n* faite suffisamment large à cet effet, et qu'ils soient amenés en contact avec les ressorts c_3 qui se trouvent également placés à côté l'un de l'autre. Les deux ressorts c_1 et les deux pièces de contact correspondantes c_2 s'intercalent sur le cordon double de la paire de fiches ; un ressort c_3 est relié avec la pile mise à la terre et l'autre ressort de même nom est mis en communication directe avec la terre. En faisant tourner le levier-bascule comme précédemment, on ferme le circuit local et, par suite, on embraye sur l'arbre le disque de contact. La came latérale *n* réunit les ressorts c_1 et les ressorts c_3. Par suite, le courant compteur va de la pile dont un pôle est mis à la terre à l'un des ressorts c_3 et au ressort correspondant c_1, il pénètre sur le conducteur de l'abonné appelant, dans l'appareil compteur de ce dernier, il passe sur le conducteur de retour et se rend à la terre en traversant

le deuxième couple de ressorts c_1 et c_3. D'autre part, en utilisant la terre pour le courant de comptage même sur les conducteurs dicordes, il devient possible d'employer une pile commune dans chaque bureau central.

L'application de notre système aux commutateurs multiples n'entraîne aucune complication; car, quelle que soit la construction du commutateur, toujours une paire de fiches est reliée par un cordon souple contenant le conducteur dans lequel les contacts c_1, c_2 et c_3 peuvent être insérés; en outre, d'ailleurs, le dispositif de contacts peut être installé en demeurant complètement séparé du panneau d'annonciateurs.

Sur les grands réseaux qui comptent plusieurs bureaux centraux et dans lesquels, pour l'établissement de certaines communications, le concours de deux opérateurs ou d'un plus grand nombre est nécessaire, il importe d'adjoindre, à chaque panneau, qui contient des jacks de conducteurs d'intercommunication entre les bureaux, un nombre de *connecteurs*, sans dispositif de contacts, correspondant au nombre de ces conducteurs. Ce chiffre doit être indiqué nettement, faute de quoi une seule et même unité de conversation pourrait se compter deux ou trois fois. Sur les grands réseaux, l'opérateur, appelé par l'abonné, aurait à employer un fil souple avec fiche pourvu d'un dispositif de contact, à introduire la fiche blanche dans le jack de l'abonné appelant et la fiche noire dans le fil d'intercommunication allant au bureau central intéressé, mais cela tout en différant l'emploi du levier-bascule jusqu'à l'arrivée de l'avis de l'autre bureau central que la communication désirée est établie. Quant à l'opérateur du second bureau central, il doit

effectuer la mise en communication avec les fiches spécialement réservées pour ne pas donner de contact. Si alors on fait tourner les leviers-bascules dans les deux bureaux centraux, le comptage d'une unité aura lieu chez l'abonné appelant. On évitera complètement les erreurs dans le choix des vraies paires de fiches, si les fils d'intercommunication entre les bureaux centraux se trouvent amenés à chaque panneau comme les fils d'abonnés et si les jacks locaux de ces fils, dans chaque bureau, sont attribués exclusivement à un agent, de sorte que les divers agents n'aient à manipuler qu'*une seule espèce* de fils souples avec fiches.

Dans les bureaux centraux importants, il sera préférable de réunir les dispositifs de contact dans un seul endroit, de les relier par des câbles aux commutateurs, d'accoupler tous les arbres entre eux, ainsi qu'avec l'arbre principal, et d'actionner ce dernier par un petit moteur tournant à un nombre déterminé de tours.

A un poste d'opérateur, on ne peut lancer *simultanément deux* émissions du courant de comptage, car l'opérateur ne peut jamais, juste au même moment, établir deux communications. Par suite, si un compteur totalisateur spécial (Z dans la *fig.* 3) est intercalé sur le fil de mise en communication entre la pile de compteur commune pour tout le bureau central et les ressorts de contact d'un poste, ce compteur principal enregistera toutes les conversations qui seront transmises de ce poste dans un certain laps de temps, résultat précieux pour les opérations statistiques et pour le contrôle.

Comme, dans un bureau central, il ne peut se faire

qu'autant d'émissions de courant *simultanées* qu'il y a de postes, la force à donner à la pile de compteur se déterminera d'après les principes que l'on applique pour les piles télégraphiques communes. Quant aux frais occasionnés par le dispositif de contacts, même sur les petits réseaux, ils ne s'élèveront pas à plus de 2 florins par abonné. Sur un grand réseau, les mêmes frais seront relativement moindres et ils seront d'autant moindres que le bureau central aura plus d'importance.

Ainsi que la description ci-dessus permet de le constater, le mécanisme du dispositif de contacts proposé est assez simple pour donner le résultat que l'on en attend, c'est-à-dire pour pouvoir fonctionner exactement durant des années, sans exiger la moindre réparation, à condition toutefois que la construction soit parfaite.

Notre dispositif présente, en outre, cet avantage qu'il peut s'adapter à des réseaux déjà existants sans entraîner le moindre arrêt dans le service, attendu qu'il suffit simplement de modifier quelques communications de fils et de changer les leviers à bascule, ce qui peut se faire de nuit et sans interrompre le travail.

2° *Installation à effectuer dans le bureau central pour compter simplement les unités de conversation, sans avoir égard à leur durée.* — Si l'on veut renoncer aux avantages, énumérés au début, d'une taxation différente pour les conversations courtes et longues, le système de contacts dans le bureau central n'a plus de raison d'être.

Dans ce dernier cas, il suffit, en effectuant la dernière manœuvre destinée à l'établissement d'une communica-

tion, de lancer un courant sur le fil de l'abonné appelant, ce par quoi l'appareil enregistreur de ce dernier se trouvera actionné. On arrive à cette fin de différentes manières également avec les différentes espèces de commutateurs. S'il s'agit des panneaux d'annonciateurs généralement employés en Autriche, on tourne le levier-bascule (commutateur à levier) déjà mentionné plusieurs fois, aussitôt que les deux abonnés attendent leurs appels réciproques ; il faut donc donner à ce levier une forme telle que, pendant qu'il passe de sa position normale à la position de conversation, pendant un instant, le fil de l'abonné appelé se trouvé isolé et que celui de l'abonné appelant soit en communication avec la pile du compteur.

Un commutateur de ce genre, devant se mouvoir dans une seule direction, aurait en conséquence, pour les conducteurs bifilaires par exemple, à prendre les positions suivantes durant une révolution complète :

a) *Position normale.* — Les deux conducteurs bifilaires à la terre ;

b) *Après une rotation de* 90°. — Les deux fils du circuit de l'abonné appelé sont isolés, tandis qu'un fil du circuit de l'abonné appelant est relié à la pile du compteur et que le second fil communique avec la terre ;

c) *Après une rotation de* 180° (*position de conversation*). — Les deux circuits sont directement reliés ensemble sans participation de la terre.

Si le mouvement rotatoire de ce commutateur a lieu autour d'un axe vertical, un mouvement par trop rapide devient alors impossible, en sorte qu'on a la certitude d'obtenir un contact compteur d'une durée suffisante. Suivant les apparences, cette sorte de compteur offre une simplification sensible des dispositifs

nécessaires, dans le bureau central, pour obtenir le même résultat. Mais si l'on songe que même les frais résultant du dispositif de contacts décrit sous A (1°) reviendront à un chiffre très minime par abonné, que ce dernier n'exigera que fort peu d'entretien et que d'ailleurs les travaux d'adaptation nécessaires sur les commutateurs déjà en service seront à peu près les mêmes, on reconnaîtra que la première forme, c'est-à-dire celle qui enregistre la durée des conversations, mérite la préférence, étant donné qu'elle donne la possibilité d'astreindre le public à une observation rigoureuse des règles de service.

B. APPAREILS ENREGISTREURS.

Pour l'enregistrement des courants compteurs, on peut employer utilement tout compteur électrique susceptible de règlage et qui se met en mouvement assez lentement pour obéir à des courants intenses et continus, mais non aux courants alternatifs des appels magnéto. La différence de notre système avec tous les autres compteurs de conversations ou enregistreurs chronométriques, consiste en ce que *la partie la plus importante du dispositif enregistreur se trouve dans le bureau central*, tandis qu'il suffit de pourvoir les nombreux postes d'abonnés de compteurs simples et à bon marché — circonstance qui faciliterait dans une large mesure, au point de vue du prix de revient, l'application dudit système.

Comme type de compteur simple, à bon marché et de fonctionement sûr, on peut citer l'appareil construit par la maison O. Schäffler de Vienne. Il peut

enregistrer jusqu'à 10.000 conversations (*). On obtiendra un appareil enregistreur encore moins volumineux en appliquant le principe adopté dans l'horloge électrique d'Arzberger, principe au sujet duquel nous n'avons pas à entrer ici dans des détails.

Le compteur peut être intercalé dans le conducteur aussi bien au bureau central que dans le poste de l'abonné et, pour prévenir complètement tout affaiblissement de l'effet acoustique, il est possible d'installer son électro-aimant en pont, au moyen d'un condensateur à fil placé en dérivation.

Si l'on dispose les compteurs dans le bureau central, on a l'avantage de ne pas se trouver dans la nécessité de modifier les appareils d'abonnés déjà en service qui appartiennent aux types les plus divers. Avec une pareille innovation il serait tout indiqué d'installer dans un local spécial, accessible au public, les enregistreurs pourvus du numéro de chaque abonné et disposés sur les fils d'abonnés entre le paratonnerre et le panneau d'annonciateurs — de manière que chaque abonné eût en tout temps la possibilité de constater les indications fournies par son compteur. En outre, il faudrait adopter un dispositif permettant, en cas d'orage, de mettre hors circuit tous les compteurs ou, en d'autres termes, de mettre à la terre en avant des compteurs tous les fils d'abonnés, ainsi que la chose est déjà possible avec la plupart des paratonnerres présentement en usage.

Quant à insérer sans plus le compteur sur les appareils de l'abonné entre le paratonnerre et le commutateur à crochet, la chose est impraticable pour plusieurs motifs. Dans ce cas, il peut arriver que le

(*) *Zeitschrift für Elektrotechnik*, Vienne, 1893, fascic. XXII.

compteur ne fonctionne pas par suite d'un accident ou d'une manœuvre volontaire, ou encore que le compteur soit mis en mouvement sous l'action d'un coup de foudre ou de courants qui pénètrent sur la ligne lors d'un essai ou d'un contact de fils. Pour rendre ces éventualités impossibles, il faut insérer le compteur derrière l'appareil sur le conducteur qui va à la terre ou sur le fil de retour. En outre, il faut compléter le commutateur automatique conformément aux indications données par les schéma des *fig.* 5 et 6 (ces schémas ont été établis en prenant comme point de départ les types de téléphone utilisés en Autriche), de manière que le compteur ne se trouve intercalé sur le circuit que pour *la durée de la conversation*, c'est-à-dire à partir du moment où le téléphone se trouve détaché, jusqu'au moment du signal de fin de conversation et soit mis en court circuit pendant le reste du temps.

Cette installation (*fig.* 5) consiste en principe en

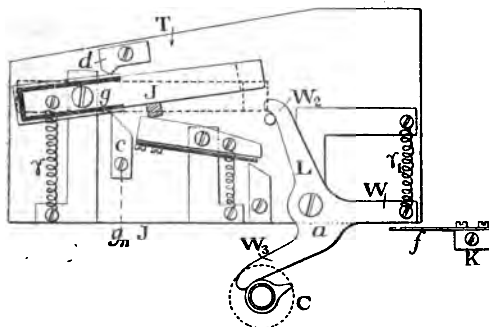


Fig. 5.

un levier de détente L à trois branches, mobile autour de la goupille (*Zapfen*) *a*, lequel, dans la position

normale, s'applique contre le levier à ressort de rappel J mobile autour de *g*; ce dernier levier est isolé de la ligne. Alors le bras W du levier de détente L presse le ressort *f* et établit un contact entre L et la borne K — ce par quoi le compteur Z (*fig.* 6) arrive à former un court circuit, si bien que, quand le téléphone se trouve suspendu, ce compteur ne peut être actionné.

Lorsqu'on enlève le téléphone, le levier J du commutateur à crochet s'éloigne du butoir *c* relié à la sonnerie et à l'appel magnéto, et il s'applique contre le buttoir *d* qui conduit au téléphone T. Le ressort γ fait alors tourner le levier de détente; par suite le contact entre ce levier et le ressort *f* est interrompu et le court circuit du compteur est supprimé.

L'abonné peut, même dans cette position, faire à loisir usage de son appareil; il peut appeler, recevoir des appels ou parler; seulement, il lui est impossible d'arrêter le fonctionnement normal du compteur, tant qu'il ne donne pas, au moyen de son appel magnéto, le signal de clôture. Si, après avoir accroché le téléphone, l'abonné tourne la manivelle de son appel magnéto, il fait en même temps tourner l'exentrique C qui est accouplé par un engrenage avec l'appel magnéto et qui agit sur la branche W_3 du levier de détente en relevant ce dernier, de manière qu'il reprend sa position primitive derrière le levier automatique J; par suite, le contact entre le levier de détente et le ressort *f* est rétabli et le compteur se trouve de nouveau mis en court circuit. L'excentrique C est agencé de manière que l'action de son point le plus élevé coïncide avec le changement de pôle de l'armature de l'appel magnéto; il s'ensuit que l'excentrique ne peut

prendre une position de repos directement au-dessous de l'extrémité du levier de détente. Dans le schéma ci-joint des fils du poste d'abonné (*fig.* 6), A indique le levier de contact pour la pile du microphone, M le microphone, Q la bobine d'induction, Z le compteur (à ce dernier, comme nous l'avons déjà dit, pour éliminer l'influence de ses bobines sur la transmission des sons, on peut adjoindre, disposés en parallèles, un petit condensateur à fil C) et E la borne de terre ou la borne du fil de retour.

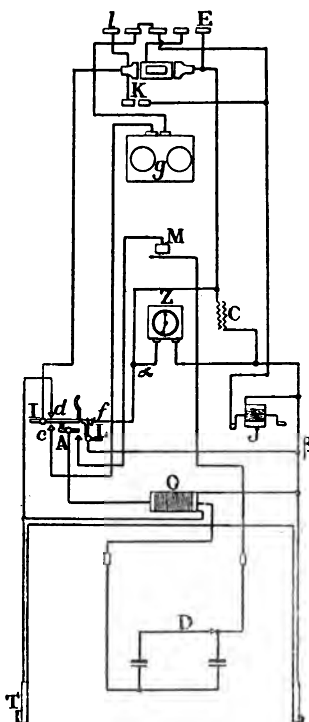


Fig. 6.

Dans la position normale telle qu'elle est indiquée, le compteur Z se trouve en court circuit par *αf*, Lβ. Si l'on enlève le transmetteur téléphonique, le contact entre L et *f* est interrompu avec le téléphone décroché, le courant compteur part de *c* et traverse I*d*Q; quand le téléphone est de nouveau accroché, le courant compteur part de *c* et traverse I*cg*J pour passer au travers du compteur et se rendre ou à la terre ou sur le fil de retour.

Si l'on enferme toutes les bornes d'entrée, de même que le compteur, dans de petites boîtes qui sont ensuite plombées, il devient impossible d'empêcher, par quelque artifice, le fonctionnement du compteur.

Même la mise hors circuit de l'ensemble des appareils *microtéléphoniques* obtenu en enfonçant la fiche de mise à la terre en cas d'orage (K *fig.* 6) n'empêche pas le fonctionnement du compteur, tant que l'abonné ne met pas aussi en court circuit le compteur, en faisant tourner l'appel magnéto. Sans parler de la sécurité que l'on peut ainsi obtenir dans le pointage des conversations, ce dispositif complémentaire qui n'entraîne que des frais insignifiants, peut être adapté aux appareils neufs, étant donné qu'il fonctionne automatiquement, et aura en outre cet avantage que les intéressés, dans leur propre intérêt, donneront plus d'attention aux signaux de fin de conversation.

En imaginant le système de compteur ci-dessus décrit, on a eu pour principal objectif *d'obtenir un comptage absolument certain et effectué avec le contrôle de l'abonné, des conversations effectives et de rendre par suite possible une tarification absolument juste de la taxe d'exploitation.*

Avec le système ci-dessus, on n'a pas à craindre de complication dans le service; car les opérations à effectuer, pour établir les comunications, restent les mêmes et, d'autre part, l'opération de comptage s'effectue sans la coopération de l'opérateur. Même dans les relations interurbaines ou quand il s'agit de l'acheminement de télégrammes par téléphone, il ne peut se produire d'erreur dans le comptage, si l'opérateur n'oublie pas que, avec le dispositif indiqué, pour les appels venant du dehors, il doit toujours utiliser la fiche de droite et, pour les appels venant du bureau, la fiche de gauche.

Sur l'ordre du Ministère Royal Impérial du Commerce, le système de compteurs que nous venons

d'exposer se trouve appliqué actuellement au réseau téléphonique de Stockerau, près Vienne, où on enregistre les conversations comme nombre et comme durée. Le système en question fonctionne dans la ville précitée depuis le 1er décembre 1894 et y donne toute satisfaction.

SELF-INDUCTION ET CAPACITÉ (*)

La neutralisation de la self-induction par une capacité est une question qui a été traitée mathématiquement d'une façon complète ; mais, pour plus d'un électricien à qui les équations ne sont pas familières, le sujet reste mystérieux. Pour l'étudiant familiarisé avec les mathématiques, la démonstration qu'une certaine valeur critique de la capacité neutralise la self-induction, de façon que le courant obéisse simplement à la loi d'Ohm, ne donne pas toujours une idée nette de la façon dont se passe le phénomène. Dans le cas du circuit secondaire d'une bobine d'induction dont les lignes de force sont opposées à celles du primaire, il est facile de voir que la fermeture du circuit secondaire réduit la self-induction du primaire, car la self-induction effective est proportionnelle au nombre total de lignes de force qui traversent la bobine par unité de courant, et tout ce qui tend à réduire ce nombre, réduit la self-induction. Mais il n'y a aucune analogie entre un condensateur et une bobine ; le premier n'a pas de lignes de force appréciables, et ne peut, par suite, augmenter ni diminuer celles de la bobine. Néanmoins, la self-induction *paraît* neutralisée, car le courant a la même valeur que si la self-induction était disparue et le condensateur enlevé. Mais ceci

(*) Extrait de *l'Électricien*, d'après *l'Electrical Wold.*

n'est qu'une apparence. En fait, la self-induction n'a pas changé, et ce qui arrive est tout à fait différent.

I. — *Analogies mécaniques.*

Avant de discuter la question, nous considérerons une ou deux analogies. Prenons le cas de deux cordes tendues. Supposons que l'une soit maintenue en vibration, et qu'on examine l'autre, qui n'est pas à l'unisson avec celle-ci. Si on la trouve en mouvement, c'est que ses vibrations sont forcées, et alors elles ont une amplitude très faible, car des forces aussi petites, agissant sur une corde relativement lourde, ne peuvent donner que des vitesses faibles ; mais si, par exemple, la corde est allongée, elle vibre de plus en plus librement, et quand la longueur est juste convenable, elle se trouve en consonance parfaite avec l'autre corde, et l'amplitude de la vibration est peut-être cent fois plus grande qu'au début. Dirons-nous qu'en augmentant la longueur de la corde nous avons neutralisé son inertie, et que, par suite, les petites forces produisent une plus grande amplitude de vibration? Ce serait une explication quelque peu grossière.



Fig. 1.

Prenons également le cas d'un pendule de torsion. Supposons une barre de fer suspendue à un long fil d'acier (*fig.* 1), et qui, déplacée de sa position d'équilibre, donne six oscillations par minute. Si nous la frappons régulièrement une fois par seconde avec un petit maillet, les oscillations de la barre ne seront jamais bien grandes; mais si le fil de suspension est

raccourci de façon que la barre oscille 60 fois dans une minute, les mêmes petits coups de maillets produiront bientôt une amplitude considérable. Mais il ne s'ensuit pas que, en raccourcissant le fil, nous ayons diminué l'inertie de la barre de fer. Nous avons simplement accordé la période de vibration de la barre avec celle des forces qui agissent sur elle, de façon que ces forces s'ajoutent, et que, lorsque l'amplitude maximum est atteinte, l'énergie de chaque coup de maillet sert simplement à équilibrer le frottement et nullement l'inertie du fer. Cette dernière est équilibrée par la torsion du fil, qui est d'autant plus grande que la déviation elle-même est plus grande.

II. — *Cas de l'électricité.*

Prenons maintenant le cas d'un condensateur chargé et déchargé dans un circuit de résistance R et de self-induction L (*fig.* 2).

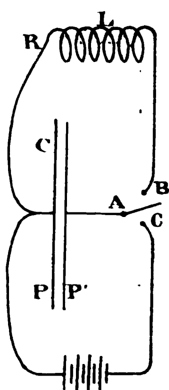


Fig. 2.

Si la résistance n'est pas trop grande, la décharge sera *oscillatoire*, et le temps d'une oscillation complète de P à P' à travers la bobine, puis à P sera à très peu près :

$$T = 2\pi\sqrt{CL},$$

c'est-à-dire que ce temps dépend de la capacité et de la self-induction, mais pour ainsi dire pas de la résistance, exactement comme la vibration du pendule de torsion dépend du moment d'inertie de la barre et de la torsion du fil, et non pas de la résistance de frottement.

Supposons maintenant que le condensateur et la bobine soient réunis en série avec une petite bobine au centre de laquelle est monté sur un axe un aimant permanent que l'on puisse faire tourner dans un plan perpendiculaire à la bobine (*fig.* 3). Il y aura production d'une force électromotrice alternative qui chargera le condensateur de telle façon que chaque armature sera alternativement positive et négative. La différence de potentiel maxima des armatures sera très petite, étant égale à la faible force électromotrice de la bobine. Supposons maintenant qu'on fasse tourner l'aimant de plus en plus vite, jusqu'à ce que le mouvement soit synchrone avec la période naturelle de la bobine et du condensateur. Alors, comme dans le cas de la corde tendue et dans celui du pendule de torsion, l'amplitude se trouve de beaucoup augmentée par le principe de la résonance. La différence de potentiel maxima du condensateur se trouve beaucoup plus grande que la force électromotrice induite dans la bobine. La charge du condensateur oscille à travers la bobine avec sa période naturelle $T = 2\pi\sqrt{CL}$, et la force exercée par l'aimant tournant ne sert qu'à vaincre la résistance du circuit. Le courant a la même valeur que si la bobine n'avait pas de self-induction. Cette dernière n'est cependant pas annulée ; mais elle se trouve équilibrée par la grande différence de potentiel du condensateur entièrement chargé.

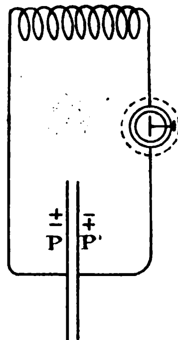


Fig. 3.

III. — *Bobine et condensateur sur un circuit alternatif.*

Branchons maintenant notre condensateur de capacité C et notre bobine de résistance R et de self-induction L, entre les fils W_1 W_2 d'une canalisation alternative (*fig.* 4), ayant une différence de potentiel maxima de 150 volts. Le potentiel de chaque fil varie entre + 75 et — 75 volts. Comme dans le cas précédent, si la période naturelle du condensateur et de la bobine est la même que celle de la force électromotrice alternative, la charge du condensateur oscillera avec sa période naturelle, et la force électromotrice maxima entre les armatures sera plusieurs fois plus grande que celle de 150 volts, c'est-à-dire que la charge Q du condensateur sera beaucoup plus grande que si la bobine était enlevée, et le courant à travers la bobine sera plus grand que si le condensateur était enlevé. Ceci est vrai, à un moindre degré, si la période T du condensateur et de la bobine n'est pas exactement la même que celle du courant. Dans un cas particulier, un électromètre branché entre les points *b* et *d* a donné une déviation de 107 divisions ; entre *a* et *d*, de 231 divisions, tandis qu'entre *a* et *b* il ne donnait que 86 divisions. Ainsi, le condensateur a pour effet *d'élever la force électromotrice* qui agit sur la bobine et par suite

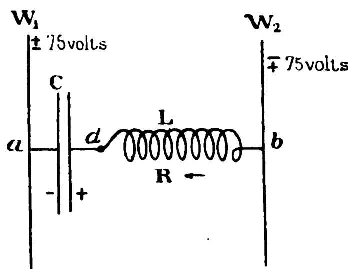


Fig 4.

de permettre le passage d'un courant plus intense à travers celle-ci. La self-induction n'est pas *neutralisée;* elle est surmontée par une différence de potentiel plus élevée aux bornes de la bobine.

Pour que le courant dans la bobine soit maximum, la période t du courant doit être la même que la période naturelle d'oscillation de l'électricité à travers la bobine et le condensateur, c'est-à-dire que t doit être égal à $2\pi\sqrt{CL}$.

Comme $\frac{1}{t} = n$, nombre de périodes par seconde,

$$\frac{1}{n} = 2\pi\sqrt{CL},$$

d'où

$$C = \frac{1}{4\pi^2 n^2 L}. \tag{1}$$

Telle est la valeur de la capacité qui équilibre la self-induction, et donne le courant maximum à travers la bobine.

Si $L = 1$ henry
et $n = 100$,
$C =$ environ 2,5 microfarads.

IV. — *Énergie potentielle et énergie cinétique.*

Lorsque le courant va à travers la bobine dans la direction *bd*, la charge du condensateur augmente et par suite la charge maxima Q du condensateur a lieu au moment où le courant est nul. D'autre part, lorsque le condensateur se décharge à travers la bobine, le courant augmente jusqu'à un maximum qu'il atteint lorsque la charge est nulle, et il cesse lorsque la charge est — Q. Lorsque le courant est nul, l'énergie

est potentielle et réside dans le condensateur. Lorsque la charge est nulle, l'énergie est cinétique, et ces quantités d'énergie sont égales entre elles. Le cas est analogue à celui du pendule de torsion (*fig.* 1). L'énergie est potentielle lorsque la barre s'arrête, étant alors contenue dans le fil tordu ; elle est au contraire cinétique lorsqu'elle a sa vitesse maximum, c'est-à-dire au moment où elle passe par la position moyenne, le fil n'ayant alors aucune torsion. Ces deux quantités d'énergie sont égales entre elles ; en fait, c'est *la même énergie* résidant tantôt dans la barre, tantôt dans le fil. Dans le cas de l'électricité, c'est aussi la même énergie, allant du condensateur à la bobine, et apparaissant, soit comme énergie potentielle sur le diélectrique du condensateur chargé, soit comme énergie cinétique dans les lignes de force magnétiques de l'éther qui entoure la bobine.

L'énergie potentielle du condensateur est

$$\frac{1}{2} Q_0 V.$$

ou

$$\frac{1}{2} CV^2.$$

L'énergie électro-cinétique du courant dans la bobine est $\frac{1}{2} LI_0{}^2$, ou I_0 est le courant maximum dans la bobine.

Ainsi,

$$CV^2 = LI_0^2. \tag{2}$$

Mais si

$$C = \frac{1}{4\pi^2 n^2 L},$$

la self-induction est éliminée en apparence, car le cou-

rant a la même valeur qu'il aurait si la self-induction et le condensateur étaient enlevés ; autrement dit

$$I = \frac{E}{R}.$$

En substituant, il vient :

$$\frac{V^2}{4\pi^2 n^2 L} = \frac{LE^2}{R^2},$$

ou

(3) $$\frac{V}{E} = \frac{2\pi n L}{R},$$

résultat qu'on peut exprimer en disant que :

La différence de potentiel maxima du condensateur est à la force électromotrice maxima comme la réactance est à la résistance.

C'est un résultat important, qui montre que lorsque la self-induction L (et par suite la réactance $2\pi nL$) est grande, lorsque la résistance R est relativement petite, la différence de potentiel V à laquelle le condensateur se trouve chargé, est beaucoup plus grande que la force électromotrice. C'est du reste cette force électromotrice élevée qui surmonte l'impédance de la bobine. Au lieu de neutraliser la self-induction de la bobine, le condensateur donne une différence de potentiel suffisamment grande pour produire le même courant à travers cette grande impédance, que produirait la force électromotrice, plus faible, sur la résistance ohmique seule.

V. — *Exemple numérique.*

Prenons l'exemple suivant :

Supposons un courant de 132 périodes par seconde, sous une force électromotrice maxima de 150 volts.

Le voltmètre indiquera la racine carrée du carré moyen, soit environ 105 volts. Si le coefficient de self-induction L est 1/10e de henry, et la résistance R, 5 ohms, on aura :

$$2\pi n = 830,$$

et l'impédance du circuit sera

$$\sqrt{R^2 + 4\pi^2 n^2 L^2} = \sqrt{25 + (830^2 \times 0,1^2)} = 83,15 \text{ ohms}.$$

Le courant sans condensateur est

$$\frac{105}{83,15} = 1,27 \text{ ampère}.$$

La valeur de V est donnée par l'expression ci-dessus.

$$V = \frac{2\pi n L}{R} E = \frac{830 \times 0.1}{5} 150 = 2490 \text{ volts}.$$

Nous voyons donc qu'une force électromotrice de 150 volts, agissant sur un condensateur et une bobine en série, peut donner lieu à une différence de potentiel de 2.490 volts dans le condensateur, et cela par suite de la résonance du condensateur, chaque petite impulsion de 150 volts arrivant juste au moment convenable pour augmenter l'amplitude. Dans un pendule, une petite force agissant synchroniquement avec le pendule, produit bientôt une grande amplitude. La force qui met en mouvement le pendule, est principalement la torsion du fil dans le pendule de torsion et la gravité dans le pendule ordinaire, la petite force supplémentaire ne servant qu'à vaincre les frottements. Ainsi, dans notre cas électrique, la force qui surmonte la grande impédance de la bobine est principalement la grande différence de potentiel du condensateur, la force électromotrice du circuit ne servant

qu'à surmonter le frottement, c'est-à-dire la résistance ohmique de la bobine.

La différence de potentiel de 2.490 volts agit sur la bobine, comme celle de 150 volts, avec une différence de phase de un quart de période. La résultante de ces deux forces est 2.494,5, valeur maxima de la différence de potentiel entre b et c (*fig.* 5). Ceci correspond à une valeur moyenne de 1746,15 (en prenant $\sqrt{0,5} = 0,7$ pour plus de simplicité) qui, agissant sur une impédance de 83,15, donne un courant moyen de $\frac{1746,15}{83,15} = 21$ ampères. C'est le même courant que donneraient 105 volts à travers 5 ohms, si la résistance et la self-induction étaient supprimées.

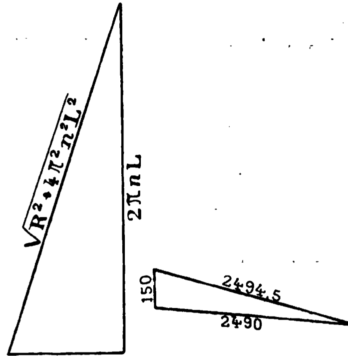


Fig. 5.

Ceci montre également combien la tension sur les diélectriques du condensateur est plus élevée que la force électromotrice du circuit. Si la self-induction avait été 1 henry au lieu de 1/10e, la différence de potentiel entre les armatures aurait été de 24900 volts.

VI. — *Relation entre la capacité, la self-induction et la période.*

A première vue, on est surpris de trouver que, plus la self induction est grande, et plus la capacité qui

l'équilibre est petite, ainsi qu'il résulte de l'expression

$$C = \frac{1}{4\pi^2 n^2 L}.$$

La raison est que, dans l'expression du temps périodique

$$t = 2\pi \sqrt{CL}$$

pour que la période reste constante et synchronique avec celle de la force électromotrice, il faut que le produit CL soit constant et égal à $\frac{t^2}{4\pi^2}$. Par suite, C est inversement proportionnel à L. Prenons encore comme exemple le cas de la corde vibrante. Nous l'amenons à l'unisson avec une autre en changeant sa longueur, et quand ceci est fait, les vibrations se produisent avec une grande amplitude. Remplaçons maintenant la corde par une autre plus forte, et nous trouverons qu'elle doit être *plus courte* pour vibrer avec la même période. Il en est de même dans le condensateur et la bobine, la capacité correspond à la longueur, et la self-induction à la masse. Plus grande est la self-induction, et plus petite doit être la capacité pour que la période reste la même. Il est évident que si, la résistance restant la même, la self-induction est augmentée et la capacité diminuée proportionnellement, la différence de potentiel maximum des armatures du condensateur sera augmentée, car le même courant, et par suite la même quantité d'électricité, passe dans le petit condensateur qui doit, par suite, être chargé à un potentiel plus élevé que le grand.

Si, la self-induction restant constante, la période du courant est allongée, la capacité doit être augmen-

tée. Ceci est évident d'après l'expression

$$(1) \qquad C = \frac{1}{4\pi^2 n^2 L},$$

et l'on conçoit d'ailleurs que, si le condensateur est chargé moins souvent, il demande une plus grande charge chaque fois, pour donner le même courant moyen. Mais l'expression (1) montre que, si la période du courant est doublée, la capacité du condensateur doit être non pas doublée, mais quadruplée. Ceci s'explique par le fait que le condensateur est chargé à la moitié seulement de sa différence de potentiel primitive, comme le montre l'expression

$$(3) \qquad \frac{V}{E} = \frac{2\pi n L}{R},$$

de sorte que, avec une capacité quatre fois plus grande, si le condensateur est chargé et déchargé deux fois moins rapidement, et à une différence de potentiel deux fois moins grande, le courant moyen sera juste le même. La corde vibrante nous donne encore une analogie : si le temps de la vibration est doublé pendant que la masse totale de la corde (correspondant à la self-induction) reste la même, la longueur (correspondant à la capacité) doit être non pas doublée mais quadruplée.

VII. — *Condensateur en parallèle avec une bobine.*

Supposons maintenant le condensateur réuni en parallèle avec la bobine, au lieu de l'être en série comme précédemment. Les fils W_1 et W_2 sont supposés encore appartenir à un circuit alternatif à potentiel constant. Comment le condensateur neutralisera-t-il maintenant la self-induction de la bobine ?

Si l'on intercale un électrodynamomètre entre les points *b* et *d* (*fig.* 6), on trouvera que le courant *ne change pas* si le condensateur est mis hors circuit. C'est un cas très différent de la disposition en série, où le condensateur augmente considérablement le courant dans la bobine. Dans le cas présent, le condensateur ne peut pas augmenter la force électromotrice qui agit sur la bobine, car il est en parallèle avec elle, et tous deux sont réunis aux fils d'alimentation W_1 W_2. Donc, si la self-induction de la bobine ne peut être directement changée, et si la force électromotrice ne peut être augmentée, il faut nous attendre à ce que le condensateur n'augmente pas le courant dans la bobine. Mais il agit sur le courant dans les fils W_1 et W_2. Si l'on intercale entre *a* et *b* un électrodynamomètre quand le condensateur est en circuit, on trouvera un courant beaucoup moindre que si le condensateur est mis hors circuit. En d'autres termes, le condensateur maintient le même courant dans la bobine, en réduisant celui qui circule dans les fils d'alimentation. La valeur de cette réduction du courant de la ligne dépend du rapport de l'impédance à la résistance, si la capacité a la valeur particulière :

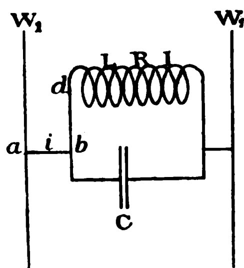


Fig. 6.

$$C = \frac{L}{R^2 + 4\pi^2 n^2 L^2}.$$

Si $R = 5$ ohms et si l'impédance est 83,15 ohms comme précédemment, le courant sera de 1,27 ampère dans la bobine. Dans la ligne, il sera réduit dans le

rapport de l'impédance à la résistance, soit :

$$\frac{83,15}{5} = 16,63 \text{ fois.}$$

Ainsi, le courant dans la ligne sera seulement 0,075 ampère. Si on relie à une dynamo cent bobines semblables, le courant sera de 127 ampères sans condensateurs et de 7,8 ampères avec condensateurs. Si la résistance de l'induit et de la ligne est de 1 ohm, la perte RI^2 serait de 16,129 watts sans condensateurs et de 58 watts avec condensateurs (en négligeant, naturellement, la perte dans les condensateurs eux-mêmes). Il est évident qu'il y a grand avantage à réduire ainsi le courant déwatté, et qu'on peut employer de cette façon des condensateurs avec des transformateurs, des moteurs ou des appareils quelconques ayant une grande impédance comparée à leur résistance. Les considérations suivantes montrent comment a lieu cette réduction du courant de la ligne.

VIII. — *Condensateur et bobine indépendante.*

Supposons la bobine et le condensateur montés en parallèle, comme l'indique la figure 7, les fils de connexion *ab* et *cd* étant indépendants. Le courant dans la bobine est en retard sur la force électromotrice, par suite de la self-induction, et si cette dernière est grande, le retard sera d'environ 90°. D'autre part, les courants de charge et décharge du condensateur sont de 90° en avance

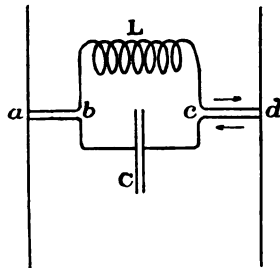


Fig. 7.

sur la force électromotrice. Ainsi, la différence de phase des deux courants est presque une demi-période, de sorte que, lorsqu'un des courants va vers la droite, l'autre va vers la gauche, et si les deux fils *ab* et les deux fils *cd* sont réunis, les deux courants s'annulent presque. Le courant résultant dans *ab* a une phase comprise entre les deux autres, et par suite en concordance avec la force électromotrice. Nous pouvons nous en faire une idée par la comparaison avec le système Édison à trois fils. Au lieu d'avoir deux forts courants en sens inverse dans deux conducteurs parallèles, on a réuni les deux conducteurs en un seul, de sorte que le courant obtenu n'est plus que la différence des courants primitifs.

Dans le cas du condensateur et de la bobine, il est impossible d'avoir le courant de la bobine et celui du condensateur dans des phases exactement opposées, à moins que la résistance ohmique ne soit zéro. Si cette résistance pouvait être nulle, les deux courants seraient exactement de phases contraires et de même intensité, de sorte qu'ils se neutraliseraient l'un l'autre (en négligeant, naturellement, l'hystérésis diélectrique).

On peut encore se représenter le phénomène en supposant que le condensateur se décharge continuellement à travers la bobine, l'énergie fournie par la ligne ne servant qu'à vaincre la résistance ohmique de la bobine.

Nous voyons que dans le cas d'un condensateur en parallèle avec une bobine d'induction, entre deux conducteurs à potentiel constant, la self-induction de la bobine n'est pas, en réalité, réduite, pas plus que dans le montage en série. Mais elle *semble* neutralisée en même temps que la résistance paraît beaucoup aug-

mentée, car là où il passait un courant de 1,27 ampère sans condensateur, il ne passe plus que 0,076 ampère avec le condensateur en parallèle, et ce faible courant est en concordance de phase avec la force électromotrice.

IX. — *Circuit à courant constant.*

Supposons maintenant que la bobine et le condensateur sont en parallèle, non pas, comme précédemment, entre des conducteurs à potentiel constant, mais sur un circuit à intensité constante. Si la valeur moyenne i du courant est maintenue constante, l'effet du condensateur sera d'augmenter beaucoup le courant dans la bobine, car l'action de la bobine et du condensateur sera la même que précédemment et le rapport du courant I dans la bobine et i dans la ligne ne dépend que de l'impédance et de la résistance, si la capacité a la valeur particulière

$$C = \frac{L}{R^2 + 4\pi^2 n^2 L^2}.$$

Mais puisque la bobine a une impédance constante et que le courant dans la bobine est augmenté dans le rapport de l'impédance à la résistance, la force électromotrice entre a et b (*fig.* 8) sera augmentée d'une façon correspondante. Dans le cas ci-dessus, où la résistance ohmique était 5 ohms et l'impédance 83,15 ohms, la force électromotrice serait augmentée environ 17 fois. Nous voyons donc que le montage en parallèle sur un circuit à intensité constante produit le même résultat que le montage en série sur un circuit à potentiel constant ; il augmente la force électromo-

trice aux bornes de la bobine et permet ainsi le passage d'un courant égal à celui qui passerait si la self-induction était annulée et le condensateur supprimé.

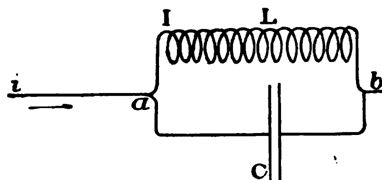


Fig. 8.

Ce dernier montage en parallèle est très utile sur les électro-aimants à grande self-induction, tels que ceux des appareils télégraphiques sur les longues lignes, car il augmente la force électromotrice agissant sur l'électro-aimant, en même temps qu'il diminue la perte en ligne, et par suite augmente le rendement.

Mais nous voyons qu'un condensateur n'annule ni ne neutralise jamais une self-induction, bien qu'on ait l'habitude de le dire, comme on dit que « le soleil se lève ». L'expression en elle-même est parfaitement admissible, à condition qu'on ne perde pas de vue sa signification exacte.

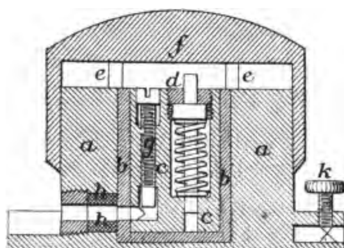
E.-B. Rosa.

(*Électricien.*)

FERME-CIRCUIT

POUR DESTRUCTION DE TRAINS EN MARCHE

Le major Simonis, du génie belge, a imaginé et exposé à Anvers, en 1894, un ferme-circuit automatique en vue de la destruction des trains de chemins de fer en marche. Cet appareil est disposé sous une traverse; c'est la dépression de cette traverse sous le poids des véhicules qui détermine un contact et par suite le passage dans une amorce du courant fourni par une pile. Le rôle du ferme-circuit est ainsi rendu très simple ; ses principales qualités seront : être robuste et se dissimuler facilement.



L'appareil étudié paraît répondre bien à ces conditions. Il se compose d'un bloc cylindrique *abc* en bronze et d'un chapeau *f* qui le coiffe à frottement doux.

Le bloc comprend deux pièces *a*, *c* isolées électriquement l'une de l'autre par un godet *b* en ébonite. Deux vis de pression *g*, *k* permettent de relier deux

conducteurs respectivement à la pièce intérieure et à la pièce extérieure : un manchon en caoutchouc *h* assure l'isolation du conducteur qui traverse *a*. Quatre broches *ee*, montées sur des ressorts à boudin, en contact métallique avec *a* et faisant une saillie de 11 millimètres supportent normalement le chapeau *f* qui peut ainsi s'abaisser sous une pression suffisante et venir en contact avec la broche *d*, laquelle fait une saillie de 6 millimètres seulement, et est en contact métallique avec *c*. Si la pression devient plus forte, *d* qui est aussi montée sur ressort à boudin, s'enfonce complètement, et le chapeau *f*, portant complètement sur *abc*, peut résister à des charges énormes.

Pour mettre en place ce ferme-circuit, on creuse perpendiculairement à la traverse, sous l'une de ses moitiés, une tranchée de $1^m,25$ de longueur et 2 mètres de profondeur supérieure de $0^m,20$ à l'enfoncement de la traverse. On loge au fond de cette tranchée une semelle de $100 \times 20 \times 5$ centimètres cubes environ, sur laquelle on pose un coin de 40 centimètres de long sur 2 à 4 centimètres d'épaisseur, on y ajoute un mandrin en bois ayant même hauteur que le ferme-circuit, autour duquel on tasse de la terre.

On enlève le mandrin, on le remplace par le ferme-circuit, et on agit sur le coin de manière que le rebord du chapeau vienne affleurer un trait de repère gravé sur *a*. On remblaie de manière à dissimuler le tout.

La position indiquée, le fond du chapeau est à 2 millimètres de la broche ; et comme l'enfoncement de la traverse sous le passage d'un train a été trouvé compris entre 2 et 8 millimètres quel que soit le poids du rail (voie normale), le fonctionnement est assuré.

Pour assurer l'efficacité de l'explosion, on place

deux appareils de ce genre dans le même circuit électrique, à 50 mètres environ l'un de l'autre. De cette manière les charges logées sous les rails ne joueront que sous le passage d'un train lorsque celui-ci recouvrira tout l'intervalle entre les deux ferme-circuit.

(*Revue du génie militaire*, d'après *Mittheilungen ü. G. d. A.-u. Genie-Wesens*).

LE

SERVICE TÉLÉPHONIQUE EN DANEMARK

Le service téléphonique, sur territoire danois, est assuré en partie par l'État, en partie par des particuliers. Il existe, dans le Danemark, 55 compagnies téléphoniques privées qui comptent 10.500 abonnés. Les opérations de ces compagnies ne portent pas seulement sur les relations urbaines, mais encore sur le trafic interurbain, autant qu'il est possible d'établir des lignes interurbaines sans leur faire franchir un cours d'eau. En vertu des lois en vigueur, aucun câble ne peut être immergé dans un cours d'eau si ce n'est par l'État ou avec l'autorisation de ce dernier ; par contre, il n'est pas nécessaire de solliciter une concession de l'État pour installer des lignes terrestres.

En suite d'un arrangement conclu, en 1893, entre les administrations télégraphiques de la Suède et du Danemark, on a établi une communication téléphonique de Copenhague à Malmö. Le conducteur téléphonique, fixé en Danemark sur les potaux télégraphiques et au-dessus des fils télégraphiques, est croisé suivant la méthode anglaise, ce qui le fait entièrement échapper aux influences d'induction. Sur territoire danois, ce conducteur est formé d'une ligne terrestre de 23 kilomètres en solide fil de bronze depuis Copenhague jusqu'à Vedbäk, sur le Sund ; il est prolongé par un

câble de 17 kilomètres allant de Vedbäk, viâ l'île Hveen, jusqu'à Hildesborg en Suède ; puis, depuis Hildesborg, par une ligne aérienne de 35 kilomètres qui atteint Malmö en passant par Landskrona.

La partie sous-marine du conducteur est formée de deux fils, placés en opposition l'un à l'autre et empruntés à un câble télégraphique assez ancien contenant au total quatre âmes ; les deux autres conducteurs de ce câble servent, comme par le passé, à assurer les transmissions télégraphiques.

Par le bureau de Malmö, Copenhague se trouve être en communication avec l'ensemble du réseau téléphonique de l'État suédois ; en temps ordinaire, on parle fort bien de Copenhague à Göteborg, Stockholm et Gefle; lorsque les conditions se trouvent être exceptionnellement favorables, on peut même converser de Copenhague à Sundsvall. La distance entre Copenhague et Stockholm est de 706 kilomètres et de Copenhague à Gefle de 890 kilomètres La taxe PAR conversation de trois minutes est fixée :

Entre Copenhague et Malmö — à 1^{cour},50.

Entre Copenhague et toutes les autres villes qui ne sont pas plus élevées que Stockholm vers le Nord (environ 59°20′ de lat. Nord) — à 2 couronnes.

Il existe une exception relativement aux réseaux téléphoniques situés sur le Sund, pour lesquels la taxe s'élève à 1^{cour},75. Pour les villes situées au N. de la latitude de Stockholm, la conversation se taxe à raison de 2^{cour},50 par trois minutes.

La ligne de Copenhague à Odense a été construite en 1894, d'après le système suédois. Comme cette ligne est appelée avec le temps à participer aux relations téléphoniques via Funen et Seeland, c'est-à-dire aux

relations entre l'Allemagne et la Suède, on a formé sa section terrestre d'un fort fil en bronze de cuivre accusant 92 p. 100 de conductibilité. Cette section est installée sur des poteaux spéciaux, éloignés de 1 à 2 mètres seulement des poteaux du télégraphe, lesquels portent une grande quantité de fils. La distance entre Copenhague et Odense se chiffre par environ 170 kilomètres ; elle comprend à peu près 20 kilomètres d'un câble traversant le Grand-Belt. Là non plus on n'a pas installé de câble téléphonique spécial ; on s'est borné à distraire de leur destination primitive 2 conducteurs d'un câble télégraphique (à 7 conducteurs) déjà existant. Là également, on a eu recours au système des croisements ; et, par un choix judicieux des conducteurs consacrés au service téléphonique, on a obtenu un circuit qui échappe entièrement aux effets de l'induction. La ligne Copenhague-Odense passe par les villes de Korsör et de Nyborg, lesquelles peuvent s'intercaler dans le circuit.

Avant de procéder à cette installation, l'on avait effectué des expériences qui avaient consisté à converser entre les cabines d'atterrissement de câble situées respectivement sur la côte O. et la côte E. du Belt. On constata alors que la parole, en suite de la capacité assez importante du câble (0,304 microfarad par mille marin) parvenait un peu voilée et moins sonore qu'elle ne l'est ordinairement sur les lignes terrestres. Mais on supposa que cet inconvénient disparaîtrait dès que le circuit se trouverait prolongé, sur les deux rives, par des lignes terrestres, car alors le câble pourrait se décharger sur ces lignes. Cette supposition s'est pleinement justifiée. On peut aujourd'hui converser d'Odense à Stockholm, et parfois jusqu'à Gefle —

soit une distance de 1.050 kilomètres, dont 37 kilomètres de câble.

La conversation de trois minutes se taxe : Entre Copenhague et Nyborg ou Odense, à raison de 1 couronne.

Entre Copenhague et Korsör, ainsi qu'entre Odense et Nyborg ou Korsör à raison de 0cour,75.

En vertu d'une décision prise par le dernier Reichstag danois, cette ligne sera prolongée durant l'année courante d'Odense jusqu'à Kolding (dans le Jutland) non loin de la frontière allemande. De Kolding partira un embranchement montant vers le Nord par Friedericiana, Vejle et Horsens jusqu'à Aarhus, tandis qu'un autre embranchement se dirigera vers l'Ouest jusqu'à Esbjerg. En outre, une ligne partira de Copenhague se dirigeant vers le Sud, par Nestved et Vordingborg, pour atteindre Nykjobing dans l'île de Falster. Au point de vue technique, la construction de ces lignes n'entraînera aucune difficulté, car les câbles sous-marins destinés à relier Fünen et le Jutland, ainsi que Seeland à l'île Falster n'auront que des longueurs peu importantes.

Pour donner au public la possibilité d'utiliser dans la plus grande mesure les lignes téléphoniques de l'État, ce dernier cherche à conclure avec les compagnies privées un arrangement en vertu duquel les cabines publiques et les abonnés de ces sociétés pourront être reliés avec le réseau de l'Administration télégraphique danoise, dès qu'ils possèderont des fils de retour. Dans chaque ville, en vue de la réalisation de cet arrangement, le bureau central de l'État est relié au bureau central de la compagnie privée par quelques lignes bifilaires.

L'Administration télégraphique impose comme condition, pour relier les abonnés des compagnies privées à son réseau, que ces abonnés possèdent un fil de retour. Elle a en outre installé des cabines publiques dans ses bureaux télégraphiques des différentes villes et elle établit des communications, au profit des abonnés, entre les habitations et les bureaux de ces abonnés et la station télégraphique. Pour ce faire elle perçoit un droit annuel qui s'élève à Copenhague à 48 couronnes pour le premier kilomètre de fil et à 32 couronnes pour chaque kilomètre suivant; dans toutes les villes de province, elle perçoit un droit annuel à forfait de 32 couronnes.

L'arrangement précité avec les compagnies privées n'a pas encore donné son plein effet en ce qui concerne le service intérieur, et cela parce que le nombre des abonnés disposant d'un fil de retour est encore assez minime. La compagnie téléphonique de Copenhague, qui a conclu une entente avec l'État, à la fin de 1893, pour obtenir la communication avec la Suède, compte à peine 100 abonnés possédant une ligne bifilaire. Si le nombre des abonnés de cette espèce n'est pas devenu plus grand, c'est en partie parce que la compagnie, jusqu'ici, pour l'installation d'un fil de retour, a réclamé un droit à forfait de 50 couronnes et en partie parce que, durant ces dernières années, la Compagnie a été distraite de cette question par des travaux importants, notamment par l'installation d'un grand bureau central nouveau avec commutateurs construits de manière à rendre possible le service avec fil de retour.

Bien que le nombre des abonnés pouvant être reliés à la Suède demeure encore restreint, les relations avec ce pays tendent à s'accroître constamment, ainsi

qu'il appert du tableau suivant, qui indique le nombre des conversations échangées, durant les cinq derniers trimestres, entre les deux pays :

CONVERSATIONS d'une durée de trois minutes entre :	1er TRIMESTRE 1894	2e TRIMESTRE 1894	3e TRIMESTRE 1894	4e TRIMESTRE 1894	1er TRIMESTRE 1895
Copenhague-Malmö.	1.094	1.448	1.289	1.628	2.079
Copenhague et les stations du Sund.	121	236	314	267	452
Copenhague et Stockholm ainsi que les autres stations au sud de Stockholm.	483	514	505	640	633
Copenhague et les stations au nord de Stockholm	3	»	1	5	»
Ensemble.	1.701	2.198	2 109	2.540	3.164

Cette ligne, malgré les circonstances peu favorables du moment, transmet donc déjà de 40 à 50 conversations par jour ouvrable, et il est certain que le nombre de ces conversations s'accroîtra, dès que celui des abonnés disposant d'un fil de retour deviendra plus important en Danemark.

Des compagnies privées, la plus importante est celle de Copenhague, constituée en 1882. Elle comptait à la fin de 1894 environ 4.500 abonnés; son réseau comprend un bureau principal, 4 bureaux secondaires établis dans les faubourgs et 9 petits bureaux dans les environs de la capitale. Elle fait payer un abonnement de 150 couronnes par an. Moyennant cet abonnement, ses abonnés peuvent utiliser toutes les lignes interurbaines de l'île de Seeland (sauf la ligne de l'État Copenhague-Korsör).

Des autres entreprises téléphoniques privées, les plus importantes sont: les compagnies d'Aarhus et

d'Odense, chacune avec environ 500 abonnés; la compagnie d'Aalborg avec près de 400 abonnés; celles de Randers avec environ 350 abonnés; celles d'Ebsjerg, de Hjörring Amt et de Horsen, qui accusent chacune de 200 à 300 abonnés. Quinze compagnies ont de 100 à 200 abonnés, les autres moins de 100.

En suite d'un accord passé entre les diverses sociétés voisines, celles-ci ont relié entre eux leurs différents réseaux au moyen de conducteurs interurbains. Ces lignes interurbaines n'ont pour la plupart qu'un seul fil; ce n'est qu'au cours de ces deux dernières années que plusieurs entreprises, notamment celle de Copenhague, ont commencé à installer des lignes à deux fils qui échappent aux effets de l'induction. Ces lignes sont formées d'un fil de 2 millimètres bi-métallique ou en bronze; elles se croisent à des intervalles déterminés. Nombre de compagnies ont deux tarifs d'abonnement; la taxation la plus faible ne donne droit qu'aux communications urbaines; la plus élevée comporte la libre utilisation, dans une mesure plus ou moins accentuée, des conducteurs interurbains.

O. H.

(*Elektrotechnische Zeitschrift.*)

TABLE DES MATIÈRES.

TOME XXII. — ANNÉE 1895.

Numéro de Janvier-Février.

Pages

Appareils industriels de mesure électrique de Lord Kelvin. 5
Recherches sur la condensation des gaz de l'électrolyse par les corps poreux et en particulier par les métaux de la famille du platine, application à la la pile à gaz, accumulateurs électriques sous pression. 19
Note sur le calcul des filières. 26
La télégraphie multiple. 28
Capacité de l'électromètre capillaire. 72
Note sur le rendement de la bobine d'induction téléphonique . . . 79

CHRONIQUE.

Sur le pouvoir inducteur spécifique du verre. 87
L'électricité considérée comme un mouvement tourbillonnaire. . . 90
Sur la propagation des ondes électromagnétiques dans la glace et sur le pouvoir diélectrique de cette substance 93
Sur le pouvoir diélectrique de la glace. 96

Numéro de Mars-Avril.

Développement de l'outillage du service des câbles sous-marins. . 97
La télégraphie multiple (*suite et fin*) 152
Mesure de la constante diélectrique. 178

CHRONIQUE.

Prix Gaston Planté 185
Sur la capacité électrostatique d'une ligne parcourue par un courant. 185
Potentiels électriques dans un liquide conducteur en mouvement uniforme 188
Sirène à moteur électrique. 190
Sur la valeur absolue des éléments magnétiques au 1er janvier 1895. 191

Numéro de Mai-Juin.

Pages
Développement de l'outillage du service des câbles sous-marins (*suite et fin*) 193

Numéro de Juillet-Août.

Câbles souterrains du réseau télégraphique et téléphonique de Paris 289
Duplex et diplex sur les lignes franco-anglaises et franco-belges. 349
La traction électrique sur la ligne du chemin de fer Baltimore-Ohio 358

CHRONIQUE.

Sur la résistivité des corps médiocrement conducteurs 374
Préparation et propriétés du borure de fer 375
Action d'un courant électrique sur une série de métaux sulfurés en fusion 376
Vibration du diapason dans un champ électrique 379
Sur un nouvel élément de pile 381
Conducteurs en aluminium 383

Numéro de Septembre-Octobre.

Lignes sur appuis métalliques en Extrême-Orient 385
Application du calcul graphique au pont de Wheatstone et à quelques problèmes relatifs à des courants continus 418
Sur les montage de postes 428
Note sur l'emploi du pont de Thomson pour la mesure de la résistance électrique des fils destinés à la construction des lignes aériennes 433
Sur la force électromotrice nécessaire pour produire un courant d'intensité variable le long d'un conducteur cylindrique 446
Généralisation de la formule de Green. Application à l'étude d'un champ électrique 460
L'électricité dans les carrières de Belgique. (Société anonyme des carrières du Hainaut.) 466

CHRONIQUE.

Sur la conductibilité des mélanges de limailles métalliques et de diélectriques 478
Communications téléphoniques avec les gares de marchandises en Bavière 479

Numéro de Novembre-Décembre.

Pages

Étude théorique du régulateur Baudot au point de vue de la mécanique rationnelle 481
Étude sur les isolements 507
Observations pour la solution technique de la question des taxes téléphoniques 513
Self-induction et capacité 540
Ferme-circuit pour destruction de trains en marche 557
Le service téléphonique en Danemark 560
Table des matières 567
Table alphabétique et signalétique des matières 571

TABLE ALPHABÉTIQUE ET SIGNALÉTIQUE
DES MATIÈRES.

TOME XXII. — ANNÉE 1895.

A

Accumulateurs électriques (Condensation des gaz de l'électrolyse par les corps poreux et, en particulier, par les métaux de la famille du platine, application à la pile à gaz, — sous pression), *L. Cailletet* et *E. Collardeau*, 19.

Action d'un courant électrique sur une série de métaux sulfurés en fusion, *Jules Garnier*, 376.

Aluminium (Conducteurs en —), 383.

Ampèremètre pour tableau de distribution, de Lord Kelvin, *J. Aylmer*, 14

Anglaises (Duplex et diplex sur les lignes franco- — et franco-belges), *H. Toussaint*, 349.

Appareils industriels de mesure électrique, de Lord Kelvin, *J. Aylmer*, 5.

Application du calcul graphique au pont de Wheatstone et à quelques problèmes relatifs à des courants continus, *J.-B. Pomey*, 416.

Appuis métalliques (Lignes sur —) en Extrême-Orient, *Dubreuil*, 385.

Aylmer. Appareils industriels de mesure électrique de *Lord Kelvin*, 5. — Voltmètre électrostatique vertical, 6. — Voltmètre multicellulaire vertical, 9. — Voltmètre multicellulaire horizontal, 12. — Balance électrostatique, 13. — Ampèremètre pour tableau de distribution, 14. — Voltmètre à grand cadran pour station centrale, 17. — Voltmètre enregistreur, 17.

B

Balance électrostatique de Lord Kelvin, *J. Aylmer*, 13.

Baltimore-Ohio (Traction électrique sur la ligne du chemin de fer —), 358.

Barth (C. von —). Observations pour la solution technique de la question des taxes téléphoniques, 513.

Baudot. La télégraphie multiple, 28, 152.

Baudot (Étude théorique du régulateur —, au point de vue de la mécanique rationnelle), *J.-B. Pomey*, 481.

Bavière (Communications téléphoniques avec les gares de marchandises en —), 479.

Beau. Câbles souterrains du réseau télégraphique et téléphonique de Paris, 289.

Beaulard. Pouvoir inducteur spécifique du verre, 87.

Belges (Duplex et diplex sur les lignes franco-anglaises et franco- —), *H. Toussaint*, 349.

Belgique (L'électricité dans les carrières de —), Société anonyme des carrières du Hainaut, *Félix Leconte*, 466.

Blondlot. Propagation des ondes électromagnétiques dans la glace et pouvoir diélectrique de cette substance, 93.

Bobine d'induction téléphonique (Note sur le rendement de la —), *E. Piérard*, 79.

Borure de fer (Préparation et propriétés du —), *Henri Moissan*, 375.

BOUTY. Capacité de l'électromètre capillaire, 72.
BRYLINSKI. Sur la force électromotrice nécessaire pour produire un courant d'intensité variable le long d'un conducteur cylindrique, 446.

C

CABLES sous-marins (Développement de l'outillage du service des —), *Ed. Morris*, 97, 193.
CABLES souterrains du réseau télégraphique et téléphonique de Paris, *N. Beau*, 289.
CAILLETET et E. Collardeau. Recherches sur la condensation des gaz de l'électrolyse par les corps poreux et, en particulier, par les métaux de la famille du platine; application à la pile à gaz, accumulateurs électriques sous pression, 19.
CALCUL des filières (Note sur le —), *J.-B. Pomey*, 26.
CALCUL graphique (Application du — au pont de Wheatstone et à quelques problèmes relatifs à des courants continus), *J.-B. Pomey*, 416.
CAPACITÉ de l'électromètre capillaire, *E. Bouty*, 72.
CAPACITÉ électrostatique (Sur la — d'une ligne parcourue par un courant), *Vaschy*, 185.
CAPACITÉ (Self-induction et —), *E.-B. Rosa*, 540.
CAPILLAIRE (Capacité de l'électromètre —), *E. Bouty*, 72
CARRIÈRES (L'électricité dans les — de Belgique, Société anonyme des carrières du Hainaut), *Félix Leconte*, 466.
CHAMP électrique (Généralisation de la formule de Green, application à l'étude d'un —), *H. Larose*, 460.
CHAMP électrique (Vibration du diapason dans un —), *Maurain*, 379.
CHEMIN de fer Baltimore-Ohio (Traction électrique sur la ligne du —), 358.
COLLARDEAU (L. Cailletet et —). Recherches sur la condensation des gaz de l'électrolyse par les corps poreux et, en particulier, par les métaux de la famille du platine, application à la pile à gaz, accumulateurs électriques sous pression, 19.
COMMUNICATIONS téléphoniques avec les gares de marchandises en Bavière, 479.
CONDENSATION des gaz de l'électrolyse par les corps poreux et, en particulier, par les métaux de la famille du platine, application à la pile à gaz, accumulateurs électriques sous pression, *L. Cailletet* et *E. Collardeau*, 19.
CONDUCTEUR cylindrique (Sur la force électromotrice nécessaire pour produire un courant d'intensité variable le long d'un —), *E. Brylinski*, 446.
CONDUCTEUR (Potentiels électriques dans un liquide — en mouvement uniforme), *Courée de Villemonté*, 188
CONDUCTEURS en aluminium, 383.
CONDUCTIBILITÉ des mélanges de limailles métalliques et de diélectriques (Sur la —), *G.-T. Lhuillier*, 478.
CONSTANTE diélectrique (Mesure de la —), *Julien Lefèvre*, 178.
CORPS médiocrement conducteurs (Sur la résistivité des —), *B.-O. Peirce*, 374.
CORPS poreux (Condensation des gaz de l'électrolyse par les —) et, en particulier, par les métaux de la famille du platine, application à la pile à gaz, accumulateurs électriques sous pression, *L. Cailletet* et *E. Collardeau*, 19.
COURANTS continus (Application du calcul graphique au pont de Wheatstone et à quelques problèmes relatifs à des —), *J.-B. Pomey*, 416.
— électrique (Action d'un — sur une série de métaux sulfurés en fusion), *Jules Garnier*, 376.
— d'intensité variable (Sur la force électromotrice nécessaire pour produire un — le long d'un conducteur cylindrique), *E. Brylinsky*, 446.

D

DANEMARK (Le service téléphonique en —), 560.
DESTRUCTION de trains en marche (Fermeture pour —), 557.
DÉVELOPPEMENT de l'outillage du service des câbles sous-marins, *Ed. Morris*, 97, 193.
DIAPASON (Vibration du — dans un champ électrique), *Maurain*. 379.
DIÉLECTRIQUE (Pouvoir — de la glace), *R. Blondlot*, 93. — *A. Pérot*, 96.
— (Mesure de la constante —), *Julien Lefèvre*, 178.
DIÉLECTRIQUES (Sur la conductibilité des mélanges de limailles métalliques et de —), *G.-T. Lhuillier*, 466.
DIPLEX (Duplex et — sur les lignes franco-

anglaises et franco-belges), *H. Toussaint*, 349.
Dubreuil. Lignes sur appuis métalliques en Extrême-Orient, 385.
Duplex et diplex sur les lignes franco-anglaises et franco-belges, *H. Toussaint*, 349.

E

Électricité dans les carrières de Belgique (L' —, société anonyme des carrière du Hainaut), *Félix Leconte*, 466.
— (L'— considéré comme un mouvement tourbillonnaire), *Ch.-V. Zenger*, 90.
Électrolyse (Condensation des gaz de l' — par les corps poreux et, en particulier, par les métaux de la famille du platine, application à la pile à gaz, accumulateurs électriques sous pression). *L. Cailletet* et *E. Collardeau*, 19.
Électromagnétiques (Propagation des ondes — dans la glace et pouvoir diélectrique de cette substance), *R. Blondlot*, 93.
Électromètre capillaire (Capacité de l'—), *E. Bouty*, 72.
Électrostatique (Voltmètre — vertical de Lord Kelvin, *J. Aylmer*, 6. — (Balance —), *J. Aylmer*, 13.
Élément de pile (Sur un nouvel —), *Morisot*, 381.
Éléments magnétiques (Sur la valeur absolue des — au 1er janvier 1895), *Ch. Moureaux*, 191.
Enregistreur (Voltmètre — de Lord Kelvin), *J. Aylmer*, 17.
Étude sur les isolements, *E. Vigneron*, 507.
— théorique du régulateur Baudot au point de vue de la mécanique rationnelle, *J.-B Pomey*, 481.
Extrême-Orient (Lignes sur appuis métalliques en —), *Dubreuil*, 385.

F

Ferme-circuit pour destruction de trains en marche, 557.
Filières (Note sur le calcul des —), *J.-P. Pomey*, 26.
Fils destinés à la construction des lignes aériennes (Note sur l'emploi du pont de Thomson pour la mesure de la résistance électrique des —), *Mutel*, 433.
Force électromotrice (Sur la — nécessaire pour produire un courant d'intensité variable le long d'un conducteur cylindrique), *E. Brylinski*, 446.
Formule de Green (Généralisation de la —, application à l'étude d'un champ électrique), *H. Larose*, 460.
Franco-anglaises et franco-belges (Duplex et diplex sur les lignes —), *H. Toussaint*, 349.
Fusion (Action d'un courant électrique sur une série de métaux sulfurés en —), *Jules Garnier*, 376.

G

Gares de marchandises en Bavière (Communications téléphoniques avec les —), 479.
Garnier (Jules). Action d'un courant électrique sur une série de métaux sulfurées en fusion, 376.
Gaz de l'électrolyse (Condensation des — par les corps poreux et, en particulier, par les métaux de la famille du platine, application à la pile à gaz, accumulateurs électriques sous pression), *L. Cailletet* et *E. Collardeau*, 19.
— Pile à —, *L. Cailletet* et *E. Collardeau*, 20.
Glace (Propagation des ondes électromagnétiques dans la — et pouvoir diélectrique de cette substance), *R. Blondlot*, 93. — Pouvoir diélectrique de la —, *A. Pérot*, 96.
Gourée de Villemonté. Potentiels électriques dans un liquide conducteur en mouvement uniforme, 188.
Green (Généralisation de la formule de de —, application à l'étude d'un champ électrique), *H. Larose*, 460.

H

Hainaut (L'électricité dans les carrières de Belgique, société anonyme des carrières du —), *Félix Leconte*, 466.

I

Iridium (Pile à gaz à l'—), *L. Cailletet* et *E. Collardeau*, 23
Isolements (Étude sur les —), *F. Vigneron*, 507.

K

Kelvin (Appareils industriels de mesure électrique de Lord —), *J. Aylmer*, 5. — Voltmètre électrostatique vertical, 6. — Voltmètre multicellulaire vertical, 9. — Voltmètre multicellulaire horizontal, 12. — Balance électrostatique, 13. — Ampèremètre pour tableau de distribution, 14. — Voltmètre à grand cadran pour station centrale, 17. — Voltmètre enregistreur, 17.

L

Larose. Généralisation de la formule de Green, application à l'étude d'un champ électrique, 460.

Leconte. L'électricité dans les carrières de Belgique, Société anonyme des carrières du Hainaut, 466.

Lefèvre (Julien). Mesure de la constante diélectrique, 178.

Lhuiller (G.-T.). Sur la conductibilité des mélanges de limailles métalliques et de diélectriques, 478.

Lignes aériennes (Note sur l'emploi du pont de Thomson pour la mesure de la résistance électrique des fils destinés à la construction des —), *Mutel*, 433.

Ligne parcourue par un courant (Sur la capacité électrostatique d'une —), *Vaschy*, 185.

Lignes sur appuis métalliques en Extrême-Orient, *Dubreuil*, 385.

Limailles métalliques (Sur la conductibilité des mélanges de — et de diélectriques), *G.-T. Lhuillier*, 478.

Liquide conducteur (Potentiels électriques dans un — en mouvement uniforme), *Gourée de Villemonté*, 188.

M

Maurain. Vibration du diapason dans un champ électrique, 379.

Médiocrement conducteurs (Sur la résistivité des corps —), *B.-O. Peirce*, 374.

Mélanges de limailles métalliques et de diélectriques (Sur la conductibilité des —), *G.-T. Lhuillier*, 478.

Mesure de la constante diélectrique, *Julien Lefèvre*, 178.

— électrique (Appareils industriels de — de Lord Kelvin), *J. Aylmer*, 5.

— de la résistance électrique (Note sur l'emploi du pont de Thomson pour la — des fils destinés à la construction des lignes aériennes), *Mutel*, 433.

Métalliques (Sur la conductibilité des mélanges de limailles — et de diélectriques), *G.-T. Lhuillier*, 478.

— (Lignes sur appuis — en Extrême-Orient), *Dubreuil*, 385.

Métaux de la famille du platine (Condensation des gaz de l'électrolyse par les corps poreux et, en particulier, par les —, application à la pile à gaz, accumulateurs électriques sous pression), *L. Cailletet* et *E. Collardeau*, 19.

— sulfurés en fusion (Action d'un courant électrique sur une série de —), *Jules Garnier*, 376.

Moissan. Préparation et propriétés du borure de fer, 375.

Montages de postes (Sur les —), *J.-B. Pomey*, 428.

Morisot. Sur un nouvel élément de pile. 381.

Morris. Développement de l'outillage du service des câbles sous marins, 97, 193.

Moteur électrique (Sirène à —). *Pellat*, 190.

Moureaux. Sur la valeur absolue des éléments magnétiques au 1er janvier 1895, 191.

Mouvement tourbillonnaire (L'électricité considérée comme un —), *Ch.-V. Zenger*, 90.

— uniforme (Potentiels électriques dans un liquide conducteur en —), *Gourée de Villemonté*, 188.

Multicellulaire (Voltmètre — vertical de Lord Kelvin), *J. Aylmer*; 9.

— (Voltmètre — horizontal de Lord Kelvin), *J. Aylmer*, 12.

Multiple (La télégraphie —), *E. Baudot*, 28. 152.

Mutel. Note sur l'emploi du pont de Thomson pour la mesure de la résistance électrique des fils destinés à la construction des lignes aériennes, 433.

N

Note sur le calcul des filières, *J.-B. Pomey*, 26.

Note sur le rendement de la bobine d'induction téléphonique, *E. Piérard*, 79.

O

Ondes électromagnétiques (Propagation des — dans la glace et pouvoir diélec-

trique de cette substance,) *R. Blondlot*, 93.

OR (Pile à gaz à l'—), *L. Cailletet* et *E. Collardeau*, 24.

ORIENT (Lignes sur appuis métalliques en Extrême —), *Dubreuil*, 385.

OUTILLAGE (Développement de l' —) du service des câbles sous-marins, *Ed. Morris*, 97, 193.

P

PALLADIUM (Pile à gaz au —), *L. Cailletet* et *E. Collardeau*, 23.

PARIS (Câbles souterrains du réseau télégraphique et téléphonique de —), *N. Beau*, 289.

PEIRCE Sur la résistivité des corps médiocrement conducteurs, 374.

PÉROT. Pouvoir diélectrique de la glace, 96.

PIÉRARD. Note sur le rendement de la bobine d'induction téléphonique, 79.

PILE à gaz (Condensation des gaz de l'électrolyse par les corps poreux et, en particulier, par les métaux de la famille du platine, application à la —, accumulateurs électriques sous pression), *L. Cailletet* et *E. Collardeau*, 19.

PILE (Sur un nouvel élément de —), *Morisot*, 381.

PLANTÉ (Prix Gaston —), 185.

PLATINE (Condensation des gaz de l'électrolyse par les corps poreux et, en particulier, par les métaux de la famille du —, application à la pile à gaz, accumulateurs électriques sous pression), *L. Cailletet* et *E. Collardeau*, 19.

POMEY. Note sur le calcul des filières, 26.

— Application du calcul graphique au pont de Wheatstone et à quelques problèmes relatifs à des courants continus, 416.

— Sur les montages de postes, 428.

— Étude théorique du régulateur Baudot, au point de vue de la mécanique rationnelle, 481.

PONT de Thomson (Note sur l'emploi du — pour la mesure de la résistance électrique des fils destinés à la construction des lignes aériennes), *Mutel*, 433.

PONT de Wheatstone (Application du calcul graphique au — et à quelques problèmes relatifs à des courants continus *J.-B. Pomey*, 416.

POREUX (Condensation des gaz de l'électrolyse par les corps — et, en particulier, par les métaux de la famille du platine, application à la pile à gaz, accumulateurs électriques sous pression), *L. Cailletet* et *E. Collardeau*, 19.

POSTES (Sur les montages de —), *J.-B. Pomey*, 428.

POTENTIELS électriques dans un liquide conducteur en mouvement uniforme, *Gourée de Villemontée*, 188.

POUVOIR diélectrique de la glace, *R. Blondlot*, 93. — *Pérot*, 96.

POUVOIR inducteur spécifique du verre, *F. Beaulard*, 87.

PRÉPARATION et propriétés du borure de fer, *Henri Moissan*, 375.

PRESSION (Condensation des gaz de l'électrolyse par les corps poreux et, en particulier, par les métaux de la famille du platine, application à la pile à gaz, accumulateurs électriques sous —), *L. Cailletet* et *E. Collardeau*, 19.

PRIX Gaston Planté, 185.

PROPAGATION des ondes électromagnétiques dans la glace et pouvoir diélectrique de cette substance. *R. Blondlot*, 93.

PROPRIÉTÉS (Préparation et — du borure de fer), *Henri Moissan*, 375.

R

RECHERCHES sur la condensation des gaz de l'électrolyse par les corps poreux et, en particulier, par les métaux de la famille du platine, application à la pile à gaz, accumulateurs électriques sous pression, *L. Cailletet* et *E. Collardeau*, 19.

RÉGULATEUR Baudot (Étude théorique du — au point de vue de la mécanique rationnelle), *J.-B. Pomey*, 481.

RENDEMENT de la bobine d'induction téléphonique (Note sur le —), *E. Piérard*, 79.

RÉSEAU télégraphique et téléphonique de Paris (Câbles souterrains du —), *N. Beau*, 289.

RÉSISTANCE électrique (Note sur l'emploi du pont de Thomson pour la mesure de la — des fils destinés à la construction des lignes aériennes), *Mutel*, 433.

RÉSISTIVITÉ des corps médiocrement conducteurs, *B.-O. Peirce*, 374.

ROSA (E.-B.). Self-induction et capacité, 540.

RUTHÉNIUM (Pile à gaz au —), *L Cailletet* et *E. Collardeau*, 23.

S

SELF-INDUCTION et capacité, *E.-B. Rosa*, 540.
SERVICE téléphonique en Danemark (Le —), 560.
SIRÈNE à moteur électrique, *Pellat*, 190.
SOLUTION technique de la question des taxes téléphoniques (Observations pour la —), *C von Barth*, 513.
SOUTERRAINS (Câbles — du réseau télégraphique et téléphonique de Paris), *N. Beau*. 289.
SULFURÉS (Action d'un courant électrique sur une série de métaux — en fusion), *Jules Garnier*, 376.

T

TAXES téléphoniques (Observations pour la solution technique de la question des —), *C. von Barth*, 513.
TÉLÉGRAPHIE multiple (La —). *E. Baudot*, 28, 152.
TÉLÉGRAPHIQUE (Câbles souterrains du réseau - et téléphonique de Paris), *N. Beau*, 289.
TÉLÉPHONIQUE (Câbles souterrains du réseau télégraphique et — de Paris), *N. Beau*, 289.
TÉLÉPHONIQUE (Note sur le rendement de la bobine d'induction —), *E. Piérard*, 79.
TÉLÉPHONIQUE (Service — en Danemark), 506.
TÉLÉPHONIQUES (Communications — avec les gares de marchandises en Bavière), 479.
TÉLÉPHONIQUES (Observations pour la solution technique de la question des taxes —), *C. von Barth*, 513.
THOMSON (Note sur l'emploi du pont de — pour la mesure de la résistance électrique des fils destinés à la construction des lignes aériennes), *Mutel*, 433.
TOURBILLONNAIRE (L'électricité considérée comme un mouvement —), *Ch.-V. Zenger*, 90.
TOUSSAINT. Duplex et diplex sur les lignes franco-anglaises et franco-belges, 349.
TRACTION électrique sur la ligne du chemin de fer Baltimore-Ohio, 358.
TRAINS en marche (Ferme-circuit pour destruction de —), 557.

V

VALEUR absolue des éléments magnétiques au 1er janvier 1895 (Sur la —), *Th. Moureaux*, 191.
VASCHY. Sur la capacité électrostatique d'une ligne parcourue par un courant, 185.
VERRE (Pouvoir inducteur spécifique du —), *F. Beaulard*, 87.
VIBRATION du diapason dans un champ électrique, *Maurain*, 379.
VIGNERON. Étude sur les isolements, 507.
VOLTMÈTRE à grand cadran pour station centrale, de Lord Kelvin, *J. Aylmer*, 17.
— électrostatique vertical de Lord Kelvin, *J. Aylmer*, 6.
— enregistreur, de Lord Kelvin, *J. Aylmer*, 17.
— multicellulaire de *Lord Kelvin*, vertical, 9, — horizontal, 12.

Z

ZENGER. L'électricité considérée comme un mouvement tourbillonnaire, 90.

FIN DES TABLES.

PARIS. — IMP. E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

